

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny i dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica de consum col·lectiu

MEMÒRIA

Autor: Queralt Madorell Batlle
Director: Oriol Gomis Bellmunt
Convocatòria: Juny 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'energia fotovoltaica és una aposta segura que es promou arreu del món, només cal fixar-se en dues de les noves possibilitats que estableix el marc legal del nou Real Decret-llei 244/2019: el consum col·lectiu i la compensació d'excedents que genera la instal·lació fotovoltaica. Aquestes noves possibilitats, conjuntament amb la baixada de preus de la tecnologia fotovoltaica, promouen l'autoconsum i la descentralització de l'energia elèctrica.

En aquest projecte es dimensiona i es dissenya una instal·lació fotovoltaica de consum col·lectiu per al conjunt d'habitants d'un bloc de pisos de 10 habitatges de manera que pugui seguir de guia per a la instal·lació de sistemes d'ús col·lectiu similars, dels quals també es disposin dades de demandes. Per a fer el projecte s'agafa una localització del poble de Caldes de Montbui, on es preveu fer un bloc de pisos de característiques similars.

En una primera part del treball es fa un tractament de les dades del consum del conjunt d'habitants i zona comunitària del bloc de pisos, per a determinar-ne les corbes de consum característiques de cada mes.

A continuació, es determinen característiques com la localització, l'orientació de la instal·lació, la radiació solar... per a obtenir simulacions de la generació que hi hauria horàriament durant un any emprant el programa *PVSyst*. Aquestes simulacions, fetes instal·lant un nombre diferent de generadors solars, permeten obtenir diversos escenaris possibles a considerar i es procedeix a estudiar-ne tres de diferents.

Seguidament, es dissenyen tota la resta de característiques de la instal·lació: la disposició de la instal·lació, el cablejat, les proteccions i la sobrecàrrega que suposa la instal·lació a la coberta de l'edifici.

Finalment, es procedeix a fer un estudi econòmic per a trobar la rendibilitat que suposa la inversió en cadascun dels tres casos i es presenten les conclusions del projecte.

Sumari

SUMARI	5
1. GLOSSARI	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte	9
2.2. Abast del projecte	10
2.3. Metodologia	10
3. L'ENERGIA FOTOVOLTAICA EN EL CONTEXT ACTUAL	11
3.1. L'autoconsum en el nostre país	12
3.1.1. Modalitats d'autoconsum segons el RD 244/2019	13
3.1.2. Autoconsum col·lectiu	15
3.1.3. Efecte de la compensació	16
3.1.4. Implementació de la compensació	18
4. PLANIFICACIÓ DE LA CAPACITAT DE GENERACIÓ	20
4.1. Planificació de la demanda	20
4.1.1. Metodologia	20
4.1.2. Càlculs per a obtenir les corbes.....	21
4.1.3. Corbes de consum diari	22
5. DIMENSIONAMENT I DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ	24
5.1. Cas a estudiar.....	24
5.2. Metodologia	24
5.3. Disseny de la instal·lació	25
5.3.1. Tipus d'estudi	25
5.3.2. Localització de la instal·lació.....	25
5.3.3. Radiació solar	27
5.3.4. Dades meteorològiques	28
5.3.5. Orientació i inclinació	29
5.3.6. Mòduls fotovoltaics	31
5.3.7. Inversor	34
5.4. Obtenció dels resultats	34
5.5. Tractament dels resultats	34
5.5.1. Dades mensuals representatives	35
5.5.2. Dades horàries	39
5.6. Característiques dels inversors segons cada configuració escollida	40
5.7. Disposició de la instal·lació	42

5.7.1. Els panells fotovoltaics.....	42
5.7.2. Estructura de suport dels panells	45
5.8. Cablejat.....	47
5.8.1. Circuit de corrent continu	51
5.8.2. Circuit trifàsic.....	54
5.9. Elements de protecció del sistema	55
5.9.1. Elements bàsics (A).....	57
5.9.2. Proteccions elèctriques (B).....	58
5.9.3. Posada a terra (C)	62
6. CÀRREGA ESTRUCTURAL	65
6.1. Efecte del vent.....	65
6.2. Efecte del pes.....	67
6.3. Càrrega estructural total.....	69
7. MANTENIMENT	70
7.1. Manteniment preventiu.....	70
7.2. Manteniment correctiu.....	70
8. ANÀLISI ECONÒMIC	71
8.1. Cost	71
8.2. Estalvi anual dels usuaris.....	74
8.3. Rendibilitat de la inversió	76
CONCLUSIONS	81
BIBLIOGRAFIA.....	82
Referències bibliogràfiques	82
Bibliografia complementària	83

1. Glossari

Termes recurrents que apareixen al treball en ordre alfabètic:

CA – Corrent altern

CC – corrent continu

CTE – Código Técnico de la Edificación

ICAEN – Institut Català de l'Energia

ICT-BT – Instrucción Técnica Complementaria – Baja Tensión

IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

MPPT – Maximum Power Point Tracker

REBT – Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión

SE-AE – Seguridad Estructural – Acciones para la Edificación

UNE – Una Norma Espanyola

2. Introducció

L'ús massiu de combustibles fòssils comporta grans nivells d'emissions de gasos d'efecte hivernacle com el CO₂. Aquest fet no només té un efecte nociu en el medi ambient, sinó que també perjudica la salut de les persones. És per això que el desenvolupament d'energies renovables és un punt crític per a combatre el canvi climàtic i els seus efectes devastadors.

Molts països promouen l'ús d'aquestes energies netes, inesgotables i cada vegada més competitives en el mercat. En aquest context, la instal·lació de plaques fotovoltaïques destinades a l'autoconsum a partir de la generació d'energia solar renovable representa una possibilitat interessant a desenvolupar i ajuda a complir la descarbonització dels edificis que s'espera assolir l'any 2030. A més a més, la nova legislació [1] del 2019 fa possible que diversos habitatges es puguin beneficiar d'una font d'autoconsum compartida, com pot ser el cas d'edificis de blocs de pisos.

Tot i que avui aquest tipus d'instal·lacions són encara pioneres, poden resultar atractives a l'usuari en representar un estalvi important o total en el consum d'energia elèctrica, la qual ha experimentat un increment de preu durant els últims anys i sembla que aquesta tendència es mantindrà durant els pròxims anys. Addicionalment, el preu cada vegada més econòmic dels panells solars, i consegüentment, la seva instal·lació, les subvencions de les quals es poden beneficiar els usuaris, juntament amb la necessitat del canvi de la manera de consumir energèticament, fan que aquesta alternativa guanyi popularitat, establint les plaques fotovoltaïques com una solució tant assequible com sostenible, que proporciona energia de millor qualitat, en estar distribuïda localment.

2.1. Objectius del projecte

Els objectius del projecte es recullen a continuació:

1. Disseny i dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica per a l'autoconsum col·lectiu d'un bloc de pisos de deu habitatges, tot estudiant tres possibles escenaris per a determinar quin acaba sent la millor opció per als usuaris.
2. Estudi tècnic dels components que conformen la instal·lació fotovoltaica així com el seu manteniment per a garantir el correcte funcionament de la instal·lació.
3. Estudi econòmic de les tres alternatives proposades.

2.2. Abast del projecte

El projecte consta dels següents punts:

- Estudi teòric de les instal·lacions fotovoltaïques segons la normativa vigent, tenint especial cura en el seu disseny, dimensionament i els requisits tècnics de connectar la instal·lació a la xara elèctrica. Aquesta característica pot ser interessant de cara a la nova realitat que permet que els edificis que generen energia renovable puguin no només abastir-se'n, sinó que també vendre l'excedent a la xarxa elèctrica, a la qual hauran d'estar connectats. Això representa un futur molt més sostenible i descentralitzat de generació i distribució elèctrica entre diversos usuaris.
- Aplicació dels conceptes estudiats en l'estudi d'un bloc de pisos de deu habitatges, fent un estudi preliminar a la constitució de la instal·lació fotovoltaica al lloc escollit. L'estudi constarà dels següents punts:
 1. Determinació del consum
 2. Proposar recursos de generació fotovoltaica
 3. Estudiar els elements que conformen la instal·lació i determinar-ne les característiques de disseny

2.3. Metodologia

Per tal d'assolir els objectius del treball ha calgut desenvolupar diferents mètodes de treball, basats fonamentalment en l'estudi de camp i en la recerca bibliogràfica en el camp de l'energia fotovoltaica. Les accions desenvolupades en cadascun dels apartats del treball es descriuen a continuació:

- Recerca del context de les energies renovables al món i al nostre país, fent èmfasi en la legislació vigent per tal de complir-la en aquest projecte.
- Recerca de la funció, disposició i manteniment dels components necessaris per a dur a terme la instal·lació.
- Tractament de dades de consum energètic d'un any per part d'una comunitat d'un bloc de pisos.
- Estudi de les corbes de demanda per a poder procedir al dimensionament de la generació.
- Anàlisi econòmic dels casos estudiats anteriorment.

3. L'energia fotovoltaica en el context actual

Les primeres dades referents a la potència solar fotovoltaica instal·lada a Espanya comencen a aparèixer el 2001 tal com es veu a la *Figura 1*. Tot i patir un creixement gairebé nul en els primers anys, el 2008 es va produir un creixement notable, degut a la promoció d'aquest tipus d'energia gràcies a diverses subvencions. En els darrers anys no hi ha hagut subvencions i per això el creixement s'ha estancat. Tanmateix, l'energia solar fotovoltaica el 2018 ja va arribar a cobrir el 2,9 % del consum peninsular d'Espanya (*Figura 2*), posicionant-se com a la tercera energia renovable arreu del territori.

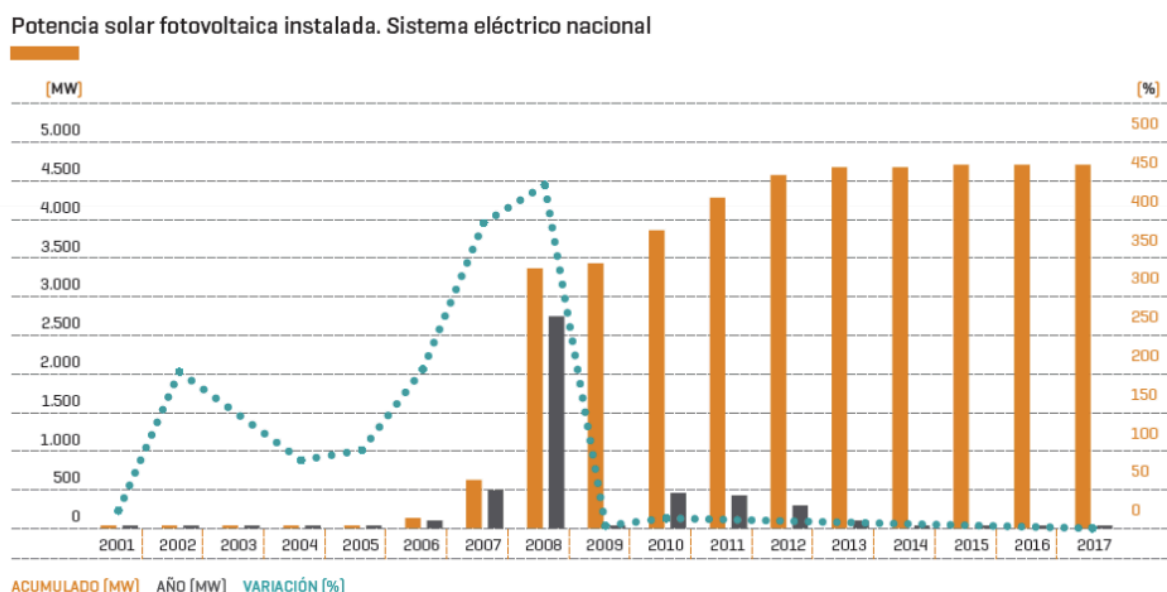


Figura 1. Evolució de l'energia solar fotovoltaica a Espanya [10].

Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. Año 2018 [%]

Nuclear	20,6%	Eólica	19,0%
Carbón	13,5%	Hidráulica	13,2%
Ciclo combinado	10,2%	Solar fotovoltaica	2,9%
Cogeneración	11,2%	Solar térmica	1,7%
Residuos no renovables	0,9%	Otras renovables	1,4%
Turbinación bombeo ⁽¹⁾	0,8%	Residuos renovables	0,3%
		Saldo importador de intercambios internacionales	4,3%

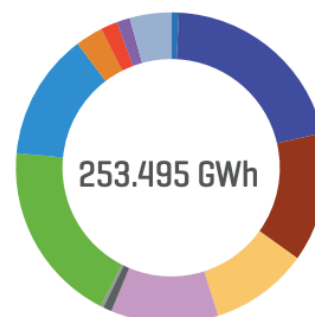


Figura 2. Cobertura de la demanda elèctrica peninsular segons com es genera l'any 2018 [28].

Segons l'Agència Internacional de l'Energia, és possible que el 16 % del consum mundial es generi mitjançant l'energia fotovoltaica el 2050 i nombroses iniciatives tant europees com nacionals es proposen potenciar aquest camí a seguir.

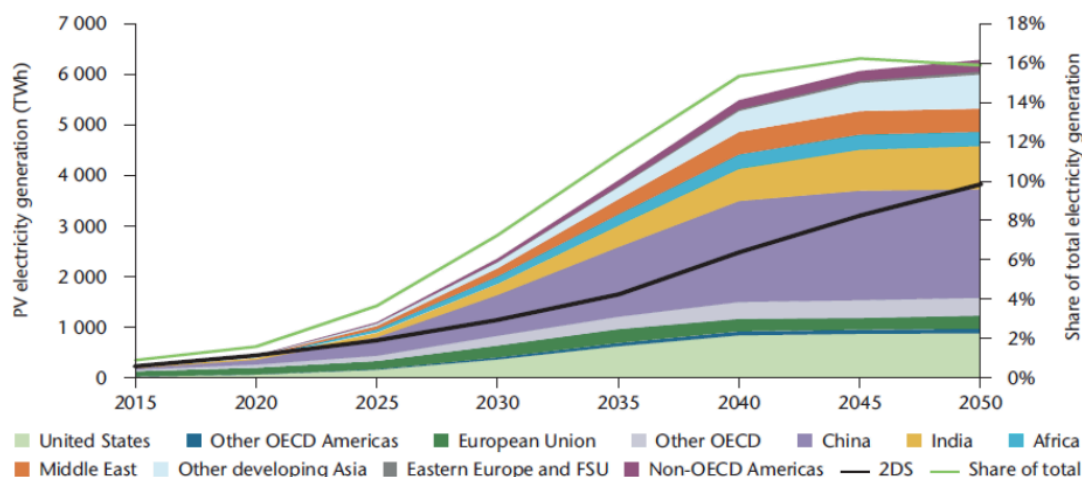


Figura 3. Evolució del pes de l'energia solar fotovoltaica en la generació del mercat mundial [29].

3.1. L'autoconsum en el nostre país

Combatre la pujada de preu que experimenta l'electricitat i potenciar la transició energètica, en un context on tan sols un 14,21 % del consum elèctric prové de fonts renovables, són objectius potenciat pel Ministeri per a la Transició Ecològica. És per això que amb el real decret del 5 d'octubre de 2018 [2] es va revocar la normativa coneguda com a 'impost sol', la qual posava dificultats en l'autoconsum d'energia solar per part d'habitatges particulars i empreses. D'aquesta manera, ja no és necessari que les instal·lacions inferiors a 100 kW s'inscriguin a un registre específic.

Poc després d'aquesta reforma, s'ha aprovat el real decret del 5 d'abril de 2019 [1], el qual representa una continuació a la política que pretenia promoure el decret aprovat anteriorment. Aquest nou text permet que els excedents d'energia generats en una instal·lació d'autoconsum puguin ser injectats a la xarxa i que l'usuari en pugui rebre una compensació en forma de descompte a la factura elèctrica mensual, segons la quantitat d'energia que produeixi i distribueixi a la xarxa. A més a més, la remuneració serà accessible per a instal·lacions que funcionin a partir d'energies renovables amb potència inferior a 100 kW, sense que s'hagin de registrar com a productors, facilitant en gran mesura el procés de compensació.

En aquest context, més del 65 % de la població espanyola viu en blocs de pisos, una tendència en increment particularment a les ciutats, on aquests edificis s'han convertit en el lloc escollit per viure. D'aquesta manera, els blocs de pisos representen consumidors massius d'aigua i d'energia, així com grans generadors de residus. La prioritat és distribuir i gestionar els recursos d'aquestes comunitats de manera eficient, que resulti en una millora econòmica i del medi ambient. És per això que el Ministeri per la Transició Ecològica ha aprovat una altra mesura que permet que diversos consumidors que es puguin beneficiar d'una font d'autoconsum compartida, com pot ser el cas d'edificis de blocs de pisos, comunitats de veïns de cases adossades, empreses o indústries ubicades en una mateixa zona. Tot això, sense pagar cap tipus d'impost ni càrrec, tan sols és necessari trobar l'acord entre les parts involucrades. És interessant veure aquest tipus d'instal·lacions com a una font de generació flexible, la qual es pot anar augmentant, segons la disponibilitat del terreny i de les necessitats del consum, possibilitant l'obtenció d'energia distribuïda localment.

Les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum que donen autonomia a edificis de blocs de pisos són encara pioneres avui. Tot i això, resulten atractives al ser no només són una opció sostenible, sinó que també en suposar un estalvi per a l'usuari. Aquest estalvi va en augment, ja que la possibilitat de consumir menys energia de la xarxa, la qual cada vegada és més cara, juntament amb el descompte a la factura elèctrica en funció de l'energia injectada a la xarxa i la millora de qualitat i abaratiment en la tecnologia que compon la instal·lació en els últims anys, fa que les plaques solars siguin una modalitat de consum econòmicament competitiva.

3.1.1. Modalitats d'autoconsum segons el RD 244/2019

Tal com s'ha exposat la nova normativa classifica la implementació de l'autoconsum per part dels usuaris en diferents categories [1], la classificació de les quals s'exposa a continuació:

1. Modalitat de subministrament d'autoconsum sense excedents. Aquestes instal·lacions han de disposar d'un mecanisme d'antivessament que impedeixi la injecció d'energia a la xarxa. La figura dels individus que participen en aquesta modalitat d'autoconsum és exclusivament la de consumidors.
 - a. Modalitat de subministrament d'autoconsum col·lectiu sense excedents acollit a compensació. Aquesta última modalitat no permet

vessar energia a la xarxa elèctrica, però permet establir regles entre els consumidors de manera que, si un usuari consumeix més energia de la pactada, haurà de compensar als altres membres segons les normes que hagin establert mútuament.

- b. Modalitat de subministrament d'autoconsum individual sense excedents, el quan no s'acull a compensació.
2. Modalitat de subministrament d'autoconsum amb excedents. Aquest tipus d'instal·lacions no només poden subministrar energia destinada a l'autoconsum de localitzacions de consum pròximes associades, sinó que també poden bolcar els excedents d'energia generada a la xarxa elèctrica de distribució. La figura dels individus participants en aquesta modalitat d'autoconsum és la de consumidors i de productors. Dins d'aquesta modalitat es distingeixen dues tipologies més d'autoconsum:
- a. Modalitat amb excedent acollida a compensació econòmica. Per trobar-se en aquesta situació el productor i el consumidor s'han de posar d'acord voluntàriament acollint-se a un mecanisme de compensació econòmica. Addicionalment, per accedir a aquesta modalitat s'hauran de complir les següents condicions:
 - i. La font d'energia primària haurà de ser renovable.
 - ii. La potència contractada de la instal·lació de producció ha de ser inferior a 100 kW.
 - iii. S'ha subscrit un contracte únic per al consum i pels serveis addicionals amb una comercialitzadora.
 - iv. S'acorda un contracte de compensació dels excedents entre el productor i el consumidor, fins i tot si el productor i consumidor són la mateixa persona física o jurídica.
 - v. La instal·lació no pot tenir atorgat cap règim retributiu addicional específic.
 - b. Modalitat amb excedent no acollida a compensació econòmica. En aquesta modalitat s'hi acullen la resta d'usuaris que no compleixen alguna de les condicions anteriors o bé els qui no vulguin optar a la compensació.

Addicionalment, el decret possibilita tant l'autoconsum individual com col·lectiu en totes les modalitats explicades, podent-se donar dins la xarxa d'un mateix edifici, com és el cas d'un bloc de pisos, o bé en edificis considerats pròxims. Les localitzacions han de complir alguna de les 3 característiques següents a poder-se considerar pròximes:

- Estar connectades a la xarxa de baixa tensió del mateix centre de transformació.
- Estar a una distància inferior a 500 m.
- Tenir els mateixos primers 14 dígits a la referència cadastral.

Si es tria l'autoconsum comú, els consumidors associats a la mateixa instal·lació de generació hauran d'avisar individualment a l'empresa distribuïdora, directament o a través de la comercialitzadora, acord al qual s'acullen totes les parts que es beneficien de la generació col·lectiva.

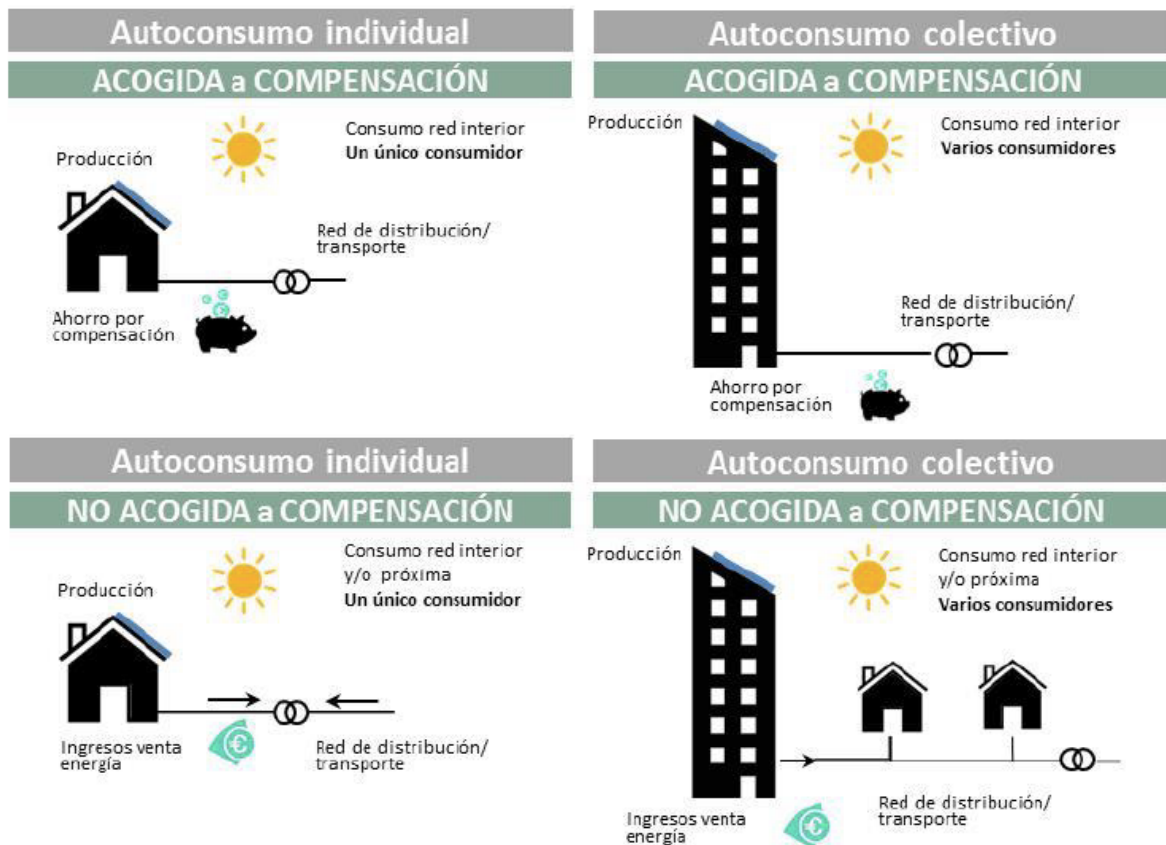


Figura 4. Els quatre tipus d'autoconsum possibles gràficament [8].

3.1.2. Autoconsum col·lectiu

A l'hora de fer una instal·lació de caràcter col·lectiu cal passar per una sèrie de passos addicionals que requereixen temps, ja que hi ha un factor social molt important, és a dir, primer cal que el conjunt de persones implicades parlin i arribin a un acord, el qual comporta l'obligació de participar en la inversió del projecte i el dret a obtenir la part acordada de l'energia generada i a obtenir la compensació de la factura elèctrica que correspongui segons si hi ha injecció d'excedent.

En el cas d'un bloc de pisos, els veïns interessats a participar s'han de posar d'acord en fer el projecte i en repartir-se l'energia segons el criteri que triïn (procediment explicat en detall a l'apartat 4.1.5). Posteriorment, si es vol fer la instal·lació a la zona comuna (per exemple al

terrat) s'ha d'arribar a un acord de majoria simple per part de tota la comunitat de veïns i, finalment, com que és d'obligat compliment que tots els usuaris de la instal·lació col·lectiva triïn la mateixa modalitat d'autoconsum, cal decidir a quina de les modalitats d'autoconsum s'acullen.

Els procés administratiu per registrar i posar en marxa una instal·lació d'autoconsum s'ha simplificat de manera significativa, però segueixen havent-hi una sèrie de passos d'obligat compliment. Una d'aquestes simplificacions es dona en les instal·lacions de menys de 15 kW que es trobin en sòl urbanitzable i que comptin amb les dotacions i serveis requerits per la legislació urbanística. Si es compleixen aquestes característiques no s'ha de demanar permís d'accés i connexió a la xarxa, així no s'haurà de presentar cap aval ni garantia per a fer el tràmit de la connexió de la instal·lació a la xarxa elèctrica.

3.1.3. Efecte de la compensació

El mecanisme de compensació mensual s'ha dissenyat per a promoure l'autoconsum i és una possibilitat molt interessant a tenir en compte a l'hora de calcular el període de retorn de la instal·lació, ja que pot acabar escurçant-lo significativament. A més, la compensació pot semblar una possibilitat molt interessant de maximitzar per treure'n profit econòmic. No obstant això, la realitat no és tan senzilla, queda clar que mai es podrà guanyar diners, simplement compensar el consum mensual i cal entendre les diferents tarifes incloses dins de la factura elèctrica, les quals s'exposen a continuació:

- Terme de potència: és la part fixa de la factura que cal pagar independentment de si hi ha consum. Inclou els peatges i la potència que l'usuari té contractada en kilowatts a preu pactat entre la comercialitzadora i l'usuari.
- Terme d'energia: és la part variable de la factura que varia en funció del consum mensual. Inclou els peatges i els kilowatts hora que s'han consumit a preu establert entre la comercialitzadora i l'usuari. És l'única part de la factura que pot compensar-se segons l'energia injectada mensual, mesurada horàriament.
- Impost especial sobre l'electricitat: impost aplicat pel Ministeri sobre la potència contractada i el consum mensual.
- Altres serveis: un exemple seria el lloguer dels equips de mesura, com el comptador, o bé el manteniment del sistema.
- Impost sobre el valor afegit (IVA) actualment del 21 % sobre el preu total de la resta d'imports.

Així, independentment del consum i segons la potència contractada hi ha una part fixa a la factura elèctrica que els usuaris no es poden estalviar. A continuació, la *Figura 5* mostra els percentatges de repartiment del cost de la factura elèctrica, segons si és un cost fix o bé variable, distingint aquests últims segons si són peatges o és consum. Les dades són una mica antigues, del 2011, però la distribució percentual no ha canviat massa. Es pot observar que per als usuaris de tipus 2, els quals són els qui tenen contractats menys de 10 kW de potència, és a dir, la majoria d'habitatges, presenten una part variable segons el consum d'energia del 44 %. Aquesta part variable de la factura és la que el decret permet descomptar en funció de la injecció d'energia a la xarxa i queda pal·les que en la indústria (consumidors de tipus 6.1) surt molt més a compte aquest tipus d'instal·lacions en tenir un cost variable major del consum.

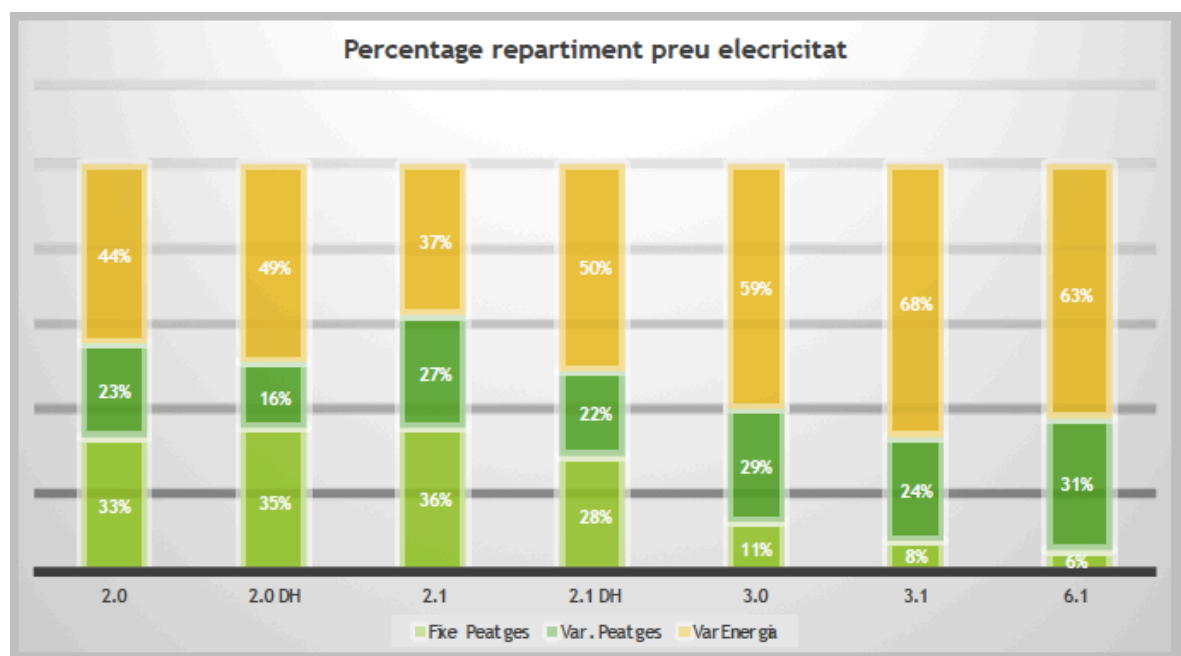


Figura 5. Percentatge repartiment preu electricitat 2011 [15].

Prenent aquestes consideracions, la instal·lació en el bloc de pisos s'ha de dimensionar amb l'objectiu d'autoconsumir l'energia i aprofitar la compensació per a poder amortitzar abans la inversió que requereix la instal·lació.

3.1.4. Implementació de la compensació

La metodologia a seguir per establir el mètode de compensació entre els consumidors i el productor, el qual inclou totes les instal·lacions acollides a compensació (fins i tot les que no tenen excedents, sent només necessari el contracte de repartiment d'energia en aquest cas), es defineix a la *Guía de Tramitación del Autoconsumo* elaborada per l'*Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía* (IDAE) [8] de la següent manera:

1. Contracte de compensació d'excedents:

Els participants en l'autoconsum col·lectiu han d'escollir un criteri per repartir l'energia generada entre ells i comunicar-lo a l'empresa distribuïdora, sigui directament o a través de la comercialitzadora, tot sol·licitant l'aplicació d'aquest. El criteri l'han de triar els usuaris de la manera que considerin oportuna (per exemple, qui més energia rep és qui més ha invertit en la instal·lació o bé repartint l'energia en parts iguals), de tal manera que els coeficients de repartiment siguin fixos durant tot el període de facturació i la seva suma sigui 1. Si tan sols hi ha un consumidor, aquest coeficient serà 1.

Si no es notifica cap acord, s'utilitzarà el criteri establert per l'Annex II del RD 244/2019 del 5 d'abril el qual estableix el coeficient de repartiment com a:

$$\beta_i = \frac{\text{Potència_màxima_contractada}(\text{consumidor_i})}{\sum \text{Totes_les_potències_màximes_contractades}(\text{tots_els_consumidors})} \quad (\text{Eq. 1})$$

Per a tots els consumidors associats a la instal·lació l'energia horària neta individual ($ENG_{h,i}$) es calcula a partir del coeficient de repartiment (β_i) i de l'energia horària neta produïda per la instal·lació (ENG_h) de la següent manera:

$$ENG_{h,i} = \beta_i \cdot ENG_h \quad (\text{Eq. 2})$$

De manera que poden donar-se dues situacions, si l'energia horària consumida individualment és superior a $ENG_{h,i}$, la distribuïdora haurà de facturar el que marca el comptador menys $ENG_{h,i}$. Altrament, la distribuïdora haurà de facturar 0 kW.

2. Mecanisme de compensació simplificada

L'energia excedentària que la instal·lació injecti a la xarxa elèctrica es valorarà a un cert preu i

es restarà a l'energia adquirida de la xarxa cada mes seguint dues possibles metodologies:

- Si l'usuari té un contracte de subministrament amb una comercialitzadora lliure:
 - L'energia consumida de la xarxa serà valorada al preu horari que figuri al contracte de subministrament acordat amb la comercialitzadora.
 - L'energia injectada a la xarxa serà valorada al preu horari que s'acordi entre la comercialitzadora i l'usuari.
- Si l'usuari té un contracte de subministrament al preu voluntari per al petit consumidor (PVPC) amb una comercialitzadora de referència:
 - L'energia consumida de la xarxa serà valorada al preu voluntari per al petit consumidor (PVPC) horàriament.
 - L'energia injectada a la xarxa serà valorada al preu mitjà horari (Pmh) que s'obtindrà a partir dels resultats del mercat diari i interdiari horàriament, menys el cost dels desviaments d'aquella hora.

4. Planificació de la capacitat de generació

L'objectiu principal del projecte és fer un estudi preliminar del disseny i del dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica que pugui cobrir la major part possible de la demanda d'un bloc de pisos. Per a dur a terme aquest estudi, d'una banda cal determinar el consum que generen els habitants i, d'altra banda, la capacitat de generació que s'hi haurà d'instal·lar, necessària per a cobrir aquest consum.

4.1. Planificació de la demanda

Per a poder estudiar les necessitats de consum que presenta un bloc de pisos, caldrà conèixer el patró de la corba de consum que el caracteritza. Per a poder fer aquest estudi s'ha aconseguit un Excel amb dades del consum horari de l'any 2018 d'un bloc de pisos de deu habitatges del municipi de Caldes de Montbui. Les dades contenen la potència horària mitjana, tant activa com reactiva, consumida per cada habitatge per separat, és a dir, un total de 10 sèries de dades. Addicionalment, també es disposa del consum de la zona comunitària (il·luminació de la zona comunitària, ascensor...). També es coneix que és un bloc de 4 plantes, el qual disposa de 2 baixos, 3 pisos a la segona i tercera planta respectivament i dos àtics. Aquestes dades són anònimes, però suposen una possibilitat interessant d'analitzar un consum que pot tenir d'un bloc de pisos similar, encara que és possible que segons el perfil dels habitants el consum variï molt d'un bloc d'habitatges a un altre. També podria passar que a la realitat no tots els habitants volguessin participar en l'autoconsum, de manera que s'haurien d'adaptar els càlculs fets en aquesta secció segons la situació. Tot i això, les dades es faran servir per a caracteritzar la instal·lació necessària que requerriria un bloc de pisos nou al municipi de condicions similars.

Les dades obtingudes s'han utilitzat per a fer un anàlisi del consum primerament, tot analitzant-ne característiques, és a dir, quina és l'energia necessària segons el mes de l'any i segons el tipus de dia, diferenciant els caps de setmana dels dies entre setmana. Les conclusions d'aquest anàlisi seran emprades per a obtenir la capacitat de generació necessària.

4.1.1. Metodologia

Com que les dades són representatives per al dimensionament de la generació d'un bloc de pisos similar, s'ha procedit a fer un tractament de dades a partir d'un mètode simple, emprant el programa Excel i seguint la metodologia exposada a continuació.

Per a la potència activa:

- S'obtenen dues corbes de consum diari mitjà per a cada mes del conjunt dels 10 habitatges que formen el bloc de pisos i la zona comunitària (la qual inclou la zona comuna amb l'il·luminat i l'ascensor): una corba per als dies entre setmana i l'altra per al cap de setmana. D'aquesta manera, es pot calcular la potència mitja que es consumeix entre setmana i els caps de setmana. Així, aquest mètode permet calcular 24 valors mitjos de potència per a cadascun dels 2 escenaris, un per a cada hora del dia.
- Tanmateix, el procediment emprant valors mitjans fa que es perdi informació: el consum en una hora perd la relació que té amb el consum de la següent hora. Aquest problema es soluciona obtenint una corba 'model' per a cada mes, és a dir, a partir de la corba del consum mitjà diari d'un mes, es selecciona la corba diària d'aquell mes que més s'hi assembla (una corba 'model').
- Les dades presenten una gran dispersió, de manera que s'afegeixen les corbes diàries en les quals es consumeix més i menys energia cada mes.

Per a la potència reactiva:

- La corba de potència reactiva representativa serà la corba associada a la corba de potència activa representativa per a cada mes, és a dir, la del mateix dia que la corba 'model'.
- Per adreçar el problema de dispersió de dades es fa el mateix procediment que per potència activa: s'afegeixen les corbes diàries en les quals es consumeix més i menys energia cada mes.

4.1.2. Càlculs per a obtenir les corbes

El programa emprat per a fer els càlculs és l'Excel. Primerament, les corbes de consum diari es calculen per a un mes, tot obtenint un full d'Excel com a 'plantilla', en la qual es van substituint les dades d'aquest primer mes per a poder obtenir automàticament les corbes dels altres mesos de l'any. Així, s'haurà creat un fitxer d'Excel per a cada mes, el qual contindrà les següents corbes diàries: dues corbes diàries per a la potència activa (la dels dies entre setmana i la del cap de setmana) i dues corbes diàries per a la potència reactiva (la dels dies entre setmana i la del cap de setmana).

A continuació s'exposen els passos seguits per a calcular les corbes diàries per a un mes donat:

1. Obtenir la corba de consum diari mitjà per a cada mes, tant pel cap de setmana com pels dies entre setmana. Així, cal calcular els 24 valors horaris de potència activa mitjana consumida diàriament.
2. Seleccionar el dia del mes que presenta la corba diària més semblant a la corba de consum diari mitjà obtinguda en el punt 1, tant per als dies entre setmana com per al cap de setmana. Aquesta corba serà la denominada corba de consum diari representativa i pot ser seleccionada emprant una de les següents metodologies:
 1. Seleccionant el dia que presenta l'àrea sota la corba de valor més semblant a la de la corba de consum diari mitjà calculada al punt 1.
 2. Seleccionant el dia que presenta la corba amb la forma més semblant a la de la corba de consum diari mitjà calculada al punt 1.

El mètode de l'àrea es descarta, ja que una corba pot presentar una àrea semblant però ser molt diferent en forma i hores de consum. Així, es faran tots els càlculs seguint la segona metodologia.

3. Obtenir la potència activa i reactiva consumida cada dia
4. Seleccionar els dies de cada mes en que es consumeix major i menor potència activa, així com els dies què es consumeix major i menor potència reactiva.
5. Representar els següents 4 gràfics:
 - a. Corba del consum diari de potència activa dels dies entre setmana
 - b. Corba del consum diari de potència activa dels dies de cap de setmana
 - c. Corba del consum diari de potència reactiva dels dies entre setmana
 - d. Corba del consum diari de potència reactiva dels dies de cap de setmana

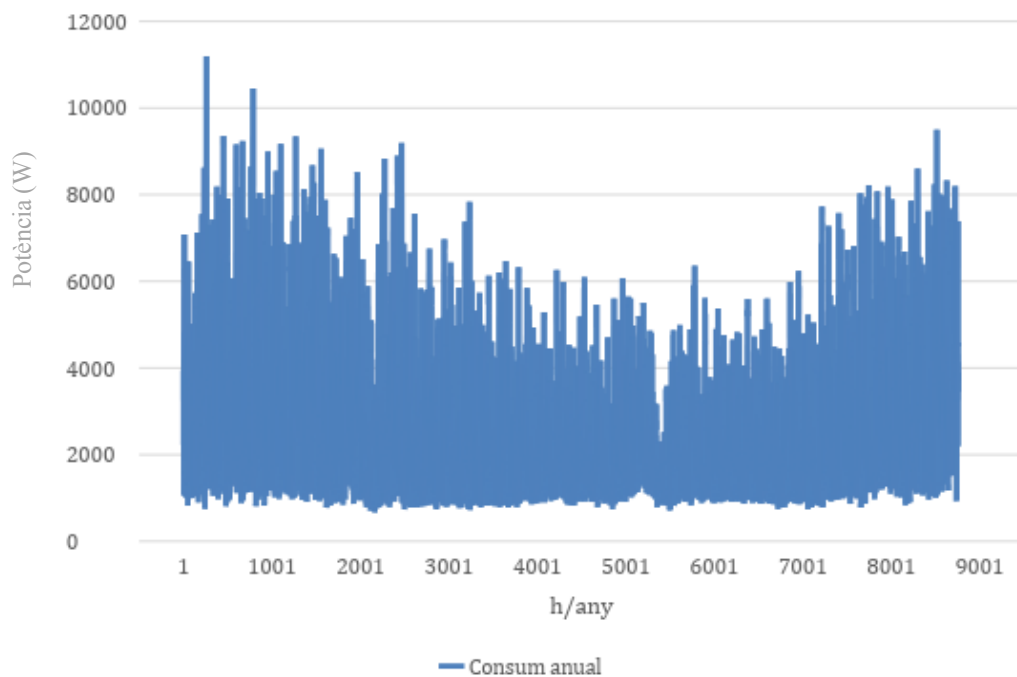
Cadascun dels 4 gràfics finals contindrà la corba de consum diari mitjà, la corba de consum diari 'model', la corba del dia en el qual s'ha consumit major potència i la corba del dia en el qual s'ha consumit menor potència.

Caldrà repetir el procediment exposat per a obtenir les corbes diàries de cada mes, tot emprant la plantilla feta per a un mes i copiant i enganxant les dades corresponents.

4.1.3. Corbes de consum diari

Les corbes diàries obtingudes seguint el procediment exposat es poden trobar a l'*Annex 1. Corbes de consum diari*. Observant les corbes calculades, es pot veure a simple vista que segueixen un patró semblant, tot i presentar variació molt significativa entre elles.

També és interessant veure el *Gràfic 1* del consum diari anual, en el qual s'observa que el consum mínim de la instal·lació és aproximadament de 1 kW, consum que es dona de manera contínua cada dia. Així, aquest valor serà el consum mínim que asseguraria que la instal·lació no generi excedent d'energia en gairebé cap moment de l'any.



Gràfic 1. Consum anual de tot el bloc de pisos.

5. Dimensionament i disseny de la instal·lació

En aquest apartat es dissenya una instal·lació fotovoltaica, connectada a la xarxa que cobreixi la major part de la demanda del bloc de pisos, tot considerant diverses possibilitats d'autogeneració. El procés seguit per a dissenyar la instal·lació serà explicat a continuació conjuntament amb les consideracions preses.

5.1. Cas a estudiar

En aquest cas es tenen en compte dues consideracions diferents:

1. En la primera es busca no superar mai el consum mínim del bloc de pisos. Per tal de complir aquest objectiu, la instal·lació haurà de ser dissenyada de manera que cobreixi la demanda del dia amb menor consum, el qual és un dia desconegut a priori.
2. Tot i això, no cal ser tan restrictiu, ja que si es produís la injecció de l'excedent d'energia a la xarxa en algun moment, seria beneficiat per a la factura dels usuaris, els quals es podrien beneficiar d'un descompte proporcional a la injecció a la xarxa elèctrica. Tot i això, no es sobredimensionarà la instal·lació, sinó que simplement es busca cobrir la major part de la demanda.

Finalment, es decideix dimensionar la instal·lació per a un dia del mes representatiu.

5.2. Metodologia

El mateix estudi es fa amb dos tipus de dades diferents:

- Emprant les dades horàries de tot l'any
- Emprant les corbes representatives diàries per a cada mes

Així es poden comparar i contrastar els resultats obtinguts emprant aquestes dues fonts de dades diferents, donat que les dades horàries són més precises, però sembla que les corbes representatives poden ser suficientment bones aproximacions.

Per a cada cas és necessari comparar les dades de consum amb la generació assignada, de manera que mitjançant l'Excel es segueix la següent metodologia:

1. Establir una potència nominal a la instal·lació fotovoltaica, començant per a un valor petit.
2. Obtenir els valors de la generació horària anual.
3. Relacionar els valors de generació obtinguts amb el consum. Si el consum net, obtingut com a resultat de restar la generació al consum, no és negatiu cal tornar al primer pas i repetir el procediment.

Aquest mètode de prova i error permet obtenir el valor de potència nominal màxim que fa que el consum net no sigui negatiu.

5.3. Disseny de la instal·lació

Seguint la metodologia explicada anteriorment, la producció energètica anual d'una instal·lació fotovoltaica a Caldes de Montbui serà calculada per a cada hora, mitjançant el programa PVsyst. Aquest programa és un software potent que permet fer simulacions i anàlisis horaris de sistemes fotovoltaics a partir de la introducció de diverses característiques del sistema.

5.3.1. Tipus d'estudi

Per dur a terme l'estudi es selecciona una instal·lació connectada a la xarxa, que pugui aprofitar la zona espaiosa i alta del terrat del bloc de pisos, tot intentant generar el màxim d'energia per a cobrir la demanda del bloc de pisos.

5.3.2. Localització de la instal·lació

És important definir la localització per a accedir a dades meteorològiques precises del lloc on es planeja fer la instal·lació, així com tenir present la proximitat d'altres edificis que puguin produir ombres i l'espai disponible, el qual pot resultar ser un factor limitant.

Així doncs, la localització es defineix a Caldes de Montbui amb latitud 41,63 longitud 2,16 i altitud 221, segons mostra la *Figura 7*. La localització escollida és un terreny on s'hi pensen construir blocs de pisos en els propers anys i el projecte pot ser d'interès.



Figura 7. Localització dins de Caldes de Montbui tal i com es veu al PVSyst.

El projecte urbanístic que es pensa fer en els pròxims anys ja està definit i es mostra a la Figura 8. D'entre tots els edificis plantejats que s'observen, n'hi ha un que és de 10 habitatges (encerclat en vermell a la figura), igual que l'edifici del qual disposem de les dades de la demanda. És per això que es dissenyarà la instal·lació pensant en aquesta localització en concret, essent la superfície prevista de 279,6m².



Figura 8. Planificació urbanística futura on es veu l'edifici triat encerclat en vermell [30].

5.3.3. Radiació solar

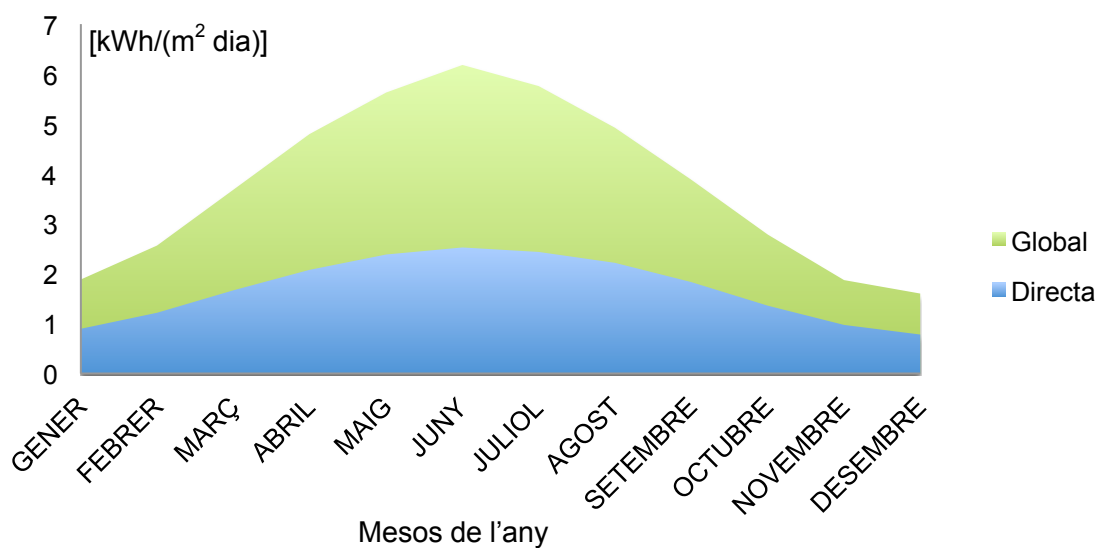
Per a determinar la quantitat de radiació solar incident s'obtenen els valors d'un estudi de l'Institut Català d'Energia fet a Catalunya que es troben publicats a *l'Atles de Radiació Solar a Catalunya 2000* [4]. Aquests valors mitjans segons la localització han estat calculats a partir de més de 100.000 dades mesurades per 83 estacions diferents des del 1970 fins al 1993.

Els valors que interessen són els de la radiació global, la qual incideix sobre les plaques solars, no obstant també es mostren els valors de la radiació directa en ser la més influent en la radiació global.

RADIACIÓ kWh/(m ² dia)	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY
Directa	0,89	1,22	1,66	2,08	2,38	2,52
Global	1,88	2,57	3,68	4,79	5,63	6,18

RADIACIÓ kWh/(m ² dia)	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
Directa	2,44	2,22	1,83	1,36	0,97	0,78
Global	5,76	4,93	3,89	2,78	1,87	1,60

Taula 1. Valors mitjans mensuals de la radiació solar difusa i global diàries en kWh/(m² dia).



Gràfic 2. Representació gràfica de les dades de radiació de la taula anterior.

A partir del Gràfic 2 es pot observar que la major radiació, i conseqüentment, la major producció d'energia es dona durant el mes de juny, mentre que la menor serà el durant el mes de desembre. Això s'ha de valorar a l'hora de dissenyar una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa, tenint en compte l'objectiu i el tipus de consum que es desitja cobrir. En el cas d'estudi, el consum és relativament uniforme durant tot l'any, de manera que es vol obtenir el màxim de radiació durant tot l'any i s'emprarà aquest criteri per a determinar altres factors.

També cal comentar que aquesta és la radiació que arriba en circumstàncies ideals als panells, és a dir, quan no hi incideixen ombres i sent la inclinació i l'orientació dels mòduls fotovoltaics òptimes.

5.3.4. Dades meteorològiques

El programa PVSyst té una base de dades pròpia 'Meteonorm', però també es poden importar dades meteorològiques de fonts externes tal i com s'ha plantejat la radiació. Per als altres valors de dades meteorològiques s'utilitza la base de dades 'Meteonorm' que ve incorporada dins el programa, la qual proporciona valors horaris d'altres paràmetres (la velocitat del vent, la temperatura...) que no són valors mesurats sinó que són valors sintètics, fabricats a partir de valors mesurats mensuals. Això es fa per a poder fer servir com a dades horàries vàlides valors calculats a partir de valors mensuals.

Aquests valors van ser obtinguts en uns 1200 centres com a valors mesurats i calculats entre el 1995 i el 2000. Els valors meteorològics de qualsevol altre lloc diferent d'on estan els

centres s'obtenen interpolant els valors, normalment, d'entre els 3 centres que es troben més propers a la localització en qüestió.

5.3.5. Orientació i inclinació

Cal determinar els paràmetres de posicionament d'orientació i d'inclinació dels panells fotovoltaics, els quals determinen l'eficiència de la generació d'energia elèctrica.

Aquest paràmetre és molt important i fa que la producció d'energia sigui òptima quan els rajos solars arriben perpendicularment a la superfície del panell. Així, que la inclinació sigui òptima depèn de la posició del sol respecte la localització on es trobi la instal·lació, de manera que aquest valor òptim variarà segons l'època de l'any per una mateixa localització.

Primerament cal decidir entre sistemes fotovoltaics estàtics o de seguiment. En un principi els panells solars mòbils presenten una major productivitat, però cal tenir en compte altres aspectes com el cost del sistema, el manteniment associat o l'espai que requereixen. Aquest últim punt representaria una limitació addicional al nostre cas d'estudi: com més exacte és el mètode de seguiment dels panells, menys eficient és l'aprofitament del terreny del qual es disposa, ja que la projecció de radiació ombrejada requereix una major separació entre els mòduls fotovoltaics en els sistemes mòbils. Així, es decideix establir una inclinació fixa durant tot l'any per als panells solars.

Les directives indicades per el *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red* de l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*) [3] estableixen tres tipus d'inclinació de les plaques solars segons l'època de l'any per la qual es vol prioritzar la generació d'energia:

- En situacions amb consums constants o similars durant l'any en les quals el vol aprofitar el període més desfavorable, es dimensiona la instal·lació per al desembre. En aquest mes sol haver-hi menys radiació, de manera que seguint aquest mètode es pot incrementar la radiació rebuda, generant més energia en aquest període.
- En situacions en les quals es vol aprofitar el període més favorable, es dimensiona la instal·lació per al mes de juny. En aquest mes sol haver-hi la major quantitat de radiació de l'any i es maximitza la generació en aquest període.
- En situacions en les quals es vol la producció durant l'any sencer, s'utilitza la configuració anual. Aquesta inclinació és l'escollida per al projecte al ser aquest el cas de l'estudi.

Època de l'any	Inclinació òptima
Desembre	Latitud + 10° = 51,63°
Juny	Latitud – 20° = 21,63°
Anual	Latitud – 10° = 31,63°

Taula 2. Inclinació segons l'època de l'any.

Així doncs el valor d'inclinació dels panells introduït al programa ha de ser un enter, per això la inclinació final s'estableix a 32°.

L'angle d'orientació o azimuth és l'angle entre la projecció en el pla horitzontal de la normal a la superfície del mòdul fotovoltaic i la meridiana de la localització. Es posiciona a 0°, és a dir, s'orienten els panells cap al sud (mirant a l'equador) on els rajos hi arriben de manera més directa possible durant la major part del dia.

Segons la localització de l'edifici en qüestió podria passar que no es pogués posicionar l'azimut a 0°, o bé, per orientar els mòduls per aconseguir l'azimut a 0° es poguessin col·locar un menor nombre de panells. Tot i això, cal tenir present que els mòduls plans tenen un gran angle de visió, de manera que les pèrdues per reflexió tan sols comencen a ser importants a partir d'angles a 70°. Amb aquestes consideracions en ment, és possible emprar angle diferents de l'òptim sense conseqüències greus apreciables a la generació.

A la *Figura 9* es poden veure els dos paràmetres un cop introduïts al programa, el qual valida el valor òptim calculat.

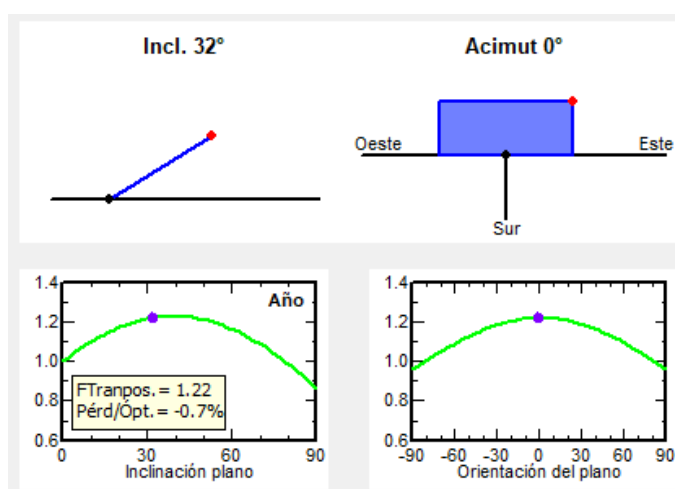


Figura 9. Paràmetres definits en l'apartat d'orientació del programa.

En el cas d'estudi cal destacar que l'edifici està envoltat per un parc i per edificis al voltant de menor altura, de manera que no es considera que es produeixin pèrdues per ombres.

5.3.6. Mòduls fotovoltaics

Els panells fotovoltaics són un element crucial d'una instal·lació fotovoltaica, ja que contenen les cel·les solars que generen l'electricitat. Aquestes cel·les estan encapsulades dins del panell fotovoltaic i s'agrupen de manera que en conjunt generin una intensitat i un voltatge suficientment grans per a ser emmagatzemats en bateries o bé per a poder ser distribuïts a usuaris, sigui en un habitatge o en la indústria.




Hi ha diversos tipus de panells fotovoltaics al mercat. D'entre ells, destaquen els panells de cel·les solars de pel·lícula fina i els panells de cel·les solars de cristall de silici:




- Els panells de cel·les de pel·lícula fina es descarten perquè són més ineficients que els altres.
- De panells de cel·les solars de cristall de silici n'hi ha dues tipologies: panells de cel·les monocristal·lines i de cel·les policristal·lines. La diferència entre ambdues tipologies és mínima a la pràctica. Les primeres són una mica més eficients (aproximadament entre un 2% i un 5% més), la qual cosa es tradueix en que requereixen una menor àrea per a produir la mateixa quantitat d'energia. També tenen una vida útil més llarga i treballen millor en condicions de poca llum solar, però són més sensibles a les averies que es puguin produir en el circuit a causa d'ombres, pols o neu. D'altra banda, també són més cares degut al procés constructiu més complex que requereixen, motiu principal pel qual es decideix utilitzar els panells de cel·les policristal·lines, un tipus de panell fotovoltaic comú en aquest tipus d'instal·lacions.

El programa PVSyst compta amb una base de dades que inclou un gran nombre dels mòduls fotovoltaics que es troben al mercat. Per a poder escollir d'entre un nombre més reduït de panells es considera el catàleg d'abril de 2019 d'Albaslar, empresa distribuïdora de material fotovoltaic. Els diferents models, marques i característiques del catàleg es poden veure a la *Figura 10*.

MODULOS

CONEXIÓN A RED

Producto	Código	Descripción						Ratío €/W	PVP	
60 Células									1 ud.	26 ud*
	1 Munchen 270	M-32-270	270 Wp , 60 cel. poly. +3%	Vmax: 37,54 V	Imax: 9,14 V	18,6 Kg	1640 x 990 x 40 mm.	0,63	169	160
	2 REC 275 PE	M-11-275	275 Wp , 60 cel. poly. +3%	Vmax: 38,7 V	Imax: 9,25 A	18 Kg	1665 x 991 x 38 mm.	0,62	171	158
	3 Peimar 280 P	M-01-280	280 Wp , 60 cel. Poly. +5W	Vmax: 37,3 V	Imax: 9,7 A	18 Kg	1640 x 992 x 40 mm.	0,62	171	153
	4 Canadian 290 KuMax	M-33-290	290 Wp , 60 cel. Poly. +5W	Vmax: 38,9 V	Imax: 9,49A	22,4 Kg	1675 x 992 x 40 mm	0,61	180	166
	5 Peimar 300 M Marco y lámina negro	M-01-300	300 Wp , 60 cel. Mono. +5W Marco Negro. Tedlar negro. Mono PERC	Vmax: 40,2 V	Imax: 9,71 A	18 Kg	1640 x 992 x 40 mm.	0,61	205	190
	6 Peimar 310 M Marco negro	M-01-310	310 Wp , 60 cel. Mono. +5W Marco Negro. Tedlar Blanco Mono PERC	Vmax: 40,7 V	Imax: 9,8 A	18 Kg	1640 x 992 x 40 mm.	0,68	212	196

									Ratío €/W	PVP	
									1 ud.	27 ud*	
	7 Munchen 330	M-32-330	330 Wp , 72 cel. Poly. +5W	Vmax: 45,49V	Imax: 9,18 A	23 Kg	1956 x 992 x 40 mm	0,60	200	189	
	8 Axitec 330	M-27-330	330 Wp , 72 cel. Poly. +5W	Vmax: 45,83V	Imax: 9,27A	22,5 Kg	1956 x 992 x 40 mm	0,67	221	209	
	9 Peimar 330 P	M-01-330	330 Wp , 72 cel. Poly. +5W	Vmax: 45 V	Imax: 10,09 A	22,5 Kg	1957 x 992 x 40 mm.	0,57	191	176	
	10 Canadian 335	M-33-335	335 Wp , 72 cel. Poly. +5W	Vmax: 45, V	Imax: 9,78A	22,6 Kg	1960 x 992 x 35 mm	0,63	210	194	
	11 Canadian 340 KuMax	M-33-340	340 Wp , 72 cel. Poly. +5W	Vmax: 45,9 V	Imax: 9,62A	22,4 Kg	2000 x 992 x 40 mm	0,65	220	206	
	12 Peimar 360 M	M-01-360	360 Wp , 72 cel. Mono. +5W	Vmax: 46,6 V	Imax: 10,09 A	22,5 Kg	1957 x 992 x 40 mm.	0,67	241	225	

*Precio exclusivamente para pallet completo o múltiplo (27 uds): Canadian 30 uds.

*Precio exclusivamente para pallet completo o múltiplo (27 uds); Canadian 30 uds.

Figura 10. Catàleg de l'empresa Albaslar de l'abril 2019 per a mòduls fotovoltaics amb connexió a la xarxa [17].

El panell escollit és el número 9 de l'empresa Peimar i compta amb 330 Wp. La potència del panell escollit és prou elevada dins la seva gamma, té una bona ràtio €/W i unes dimensions adequades. Addicionalment, el panell està inclòs a la base de dades del programa PVSyst. A continuació es poden veure les característiques del model Peimar 330P:

Potència pic	330 W	Intensitat de curtcircuit (I_{sc})	9,78 A
Tensió a màxima potència (V_{MP})	36,4 V	η	17 %
Corrent a màxima potència (I_{MP})	9,07 A	Temperatura de funcionament de la cel·la	45 ± 2 °C
Tensió en buit (V_{oc})	45 V	Factor de forma	0,75

Taula 3. Característiques elèctriques dels panells escollits

Dimensions	1957x992x340 mm ³
Pes	22,5 kg
Tipus de cel·la	72 cel·les policristal·lines
Màxima càrrega	5400 Pa

Taula 4. Altres característiques dels panells escollits.

Els paràmetres elèctrics importants a determinar en un panell que han estat especificats a la taula de característiques elèctriques s'expliquen a continuació:

Corrent de curtcircuit (I_{sc}): és el corrent que es genera quan el voltatge és nul, és a dir, quan les zones exteriors del panell estan unides per un conductor exterior de resistència nul·la. És el corrent màxim que pot produir el panell i és un paràmetre molt important per protegir el sistema fotovoltaic.

Tensió en buit (V_{oc}): és la diferència de potencial a la que es troba el panell il·luminat quan el corrent és nul. És el voltatge màxim que pot produir el panell, paràmetre especialment important si els panells es connecten en sèrie.

Factor de forma (FF): és un paràmetre que representa la qualitat del panell. És el quocient de la potència màxima que pot generar el panell per entregar-la a una càrrega entre el producte de la intensitat de curtcircuit per la tensió en buit. Varia per a cada panell entre 0,7-0,8 per als semiconductors, essent el valor ideal la unitat.

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Potència màxima ($P_{m\grave{a}x}$): és el punt d'operació òptim del panell on subministra la potència més gran possible donades les altres característiques, de manera que convé fer treballar el panell a prop d'aquest punt.

$$P_{m\grave{a}x} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} \quad (\text{Eq. 4})$$

Eficiència (η): relació entre la irradiació que rep el panell i la capacitat de convertir-la en energia elèctrica (essent S la superfície de la cel·la i G la irradiació rebuda).

$$\eta = \frac{P_{m\grave{a}x}}{S \cdot G} \quad (\text{Eq. 5})$$

5.3.7. Inversor

L'inversor serà escollit en funció de la potència nominal establerta per la disposició en sèrie dels panells fotovoltaics. Així s'estableix la tensió en circuit obert màxima que es pot assolir (V_{OC}), la qual ha de ser inferior a la tensió màxima que permet assolir l'inversor. També cal mirar que la tensió del punt de màxima potència dels panells en conjunt (V_{MP}) estigui dins el rang de tensions del seguidor de l'inversor del punt de màxima potència (MPPT o '*maximum power point tracker*'). Un cop es compleixen els requisits anteriors, la resta de panells s'han de disposar de la mateixa manera per oferir els mateixos valors de tensió en CC a l'inversor i caldrà comprovar que la intensitat de màxima potència dels panells (I_{MP}) sigui inferior a la màxima admissible per l'inversor. Finalment, caldria comprovar que la potència nominal del generador estigui entre 1 i 1,3 vegades la potència nominal de l'inversor, és a dir, l'inversor escollit en cada cas està subdimensionat respecte a la potència nominal de la instal·lació per a poder realitzar una transformació eficient. Així, per a cada simulació a una potència nominal de la instal·lació fotovoltaica donada s'haurà de triar l'inversor que millor s'hi adapti.

Hi ha diversos fabricants d'inversors dins la base de dades del programa. En general, s'han escollit inversors de la marca Forniis, un bon fabricant que ofereix un rang de potències nominals divers que s'adapta a les necessitats de la instal·lació. S'utilitza un inversor modulat per a cada branca generadora, donat que el rang de potències amb el qual es treballa és menor a 10 kW.

5.4. Obtenció dels resultats

Un cop els paràmetres han estat definits es pot procedir a fer la simulació. El programa permet obtenir un fitxer Excel amb variables escollides de manera horària durant un any. Pel cas que ocupa l'estudi, la variable que interessa obtenir és l'energia generada després de considerar les pèrdues. Així, per a cada simulació a una potència nominal de la instal·lació donada, s'obté un fitxer Excel amb aquesta variable.

5.5. Tractament dels resultats

Per tal de comparar els resultats segons els formats de dades desitjats, és necessari adequar el format de les dades tant de consum com de generació. Els passos seguits segons si les dades son mensuals o horàries s'expliquen a continuació.

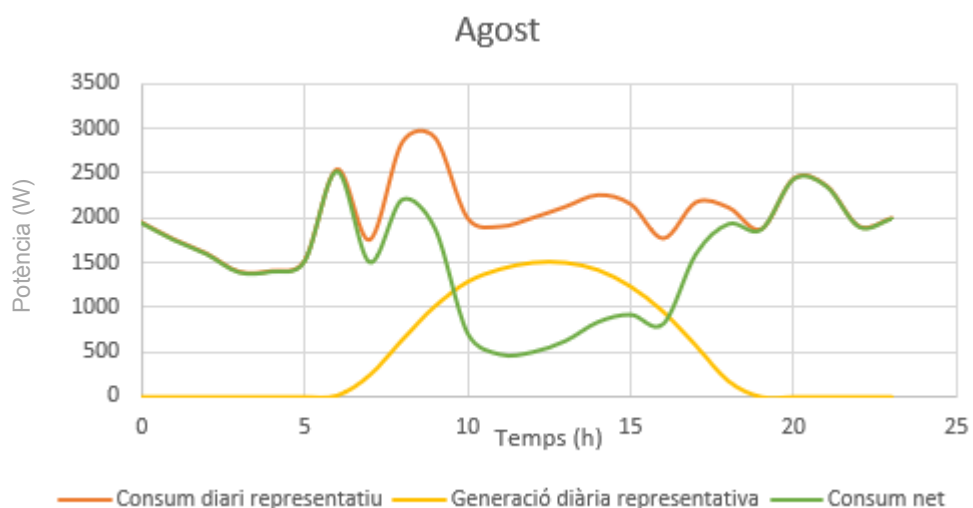
5.5.1. Dades mensuals representatives

S'ha procedit a calcular corbes representatives de la generació diària per a cada mes, per així poder-les comparar i relacionar amb les corbes representatives del consum diari calculades per a cada mes en l'apartat de planificació de la demanda.

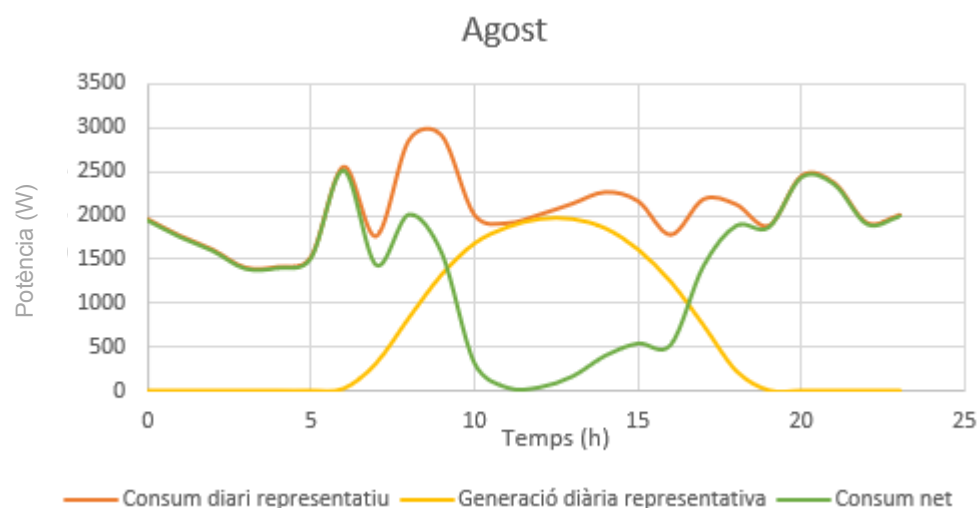
Per a obtenir les dades en el format desitjat i comparar-les amb el consum, s'han seguit els següents passos en cada fitxer d'Excel corresponent:

1. Obtenir la corba de generació diària mitjana a partir de la mitja dels 24 valors horaris de potència generada diàriament.
2. Seleccionar el dia de cada mes que presenta la corba diària amb una forma més semblant a la corba de generació diària mitjana obtinguda en el punt 1. Aquesta corba serà la denominada corba de generació diària representativa.
3. Representar gràficament per a cada mes la corba de consum diari representativa, la corba de generació diària representativa i la corba de consum net.

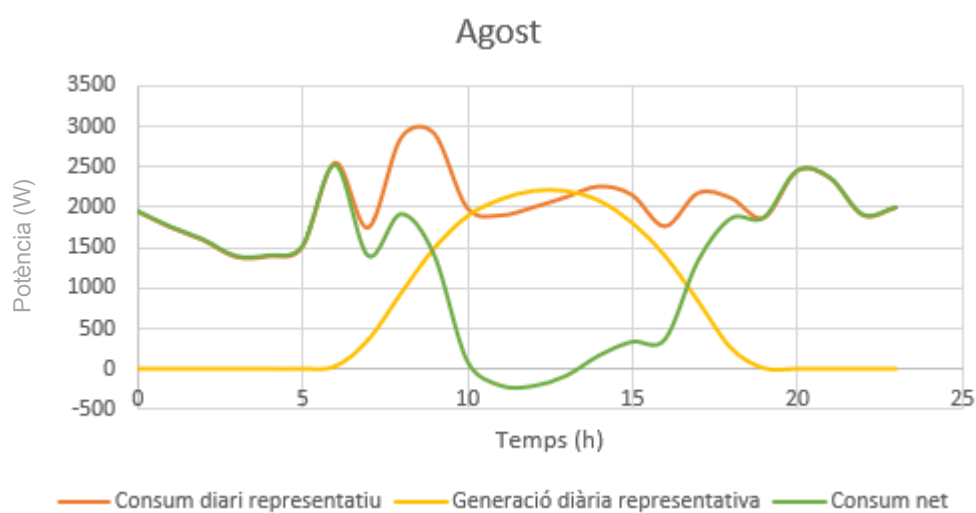
Seguint el mètode de prova i error explicat anteriorment, es pot veure gràficament la potència nominal de la instal·lació que s'ajusta millor a la corba de consum. El mes amb la corba representativa de consum diari més restrictiva és l'agost, per això són les corbes d'aquest mes les que s'estudien per als diferents valors de potència nominal:



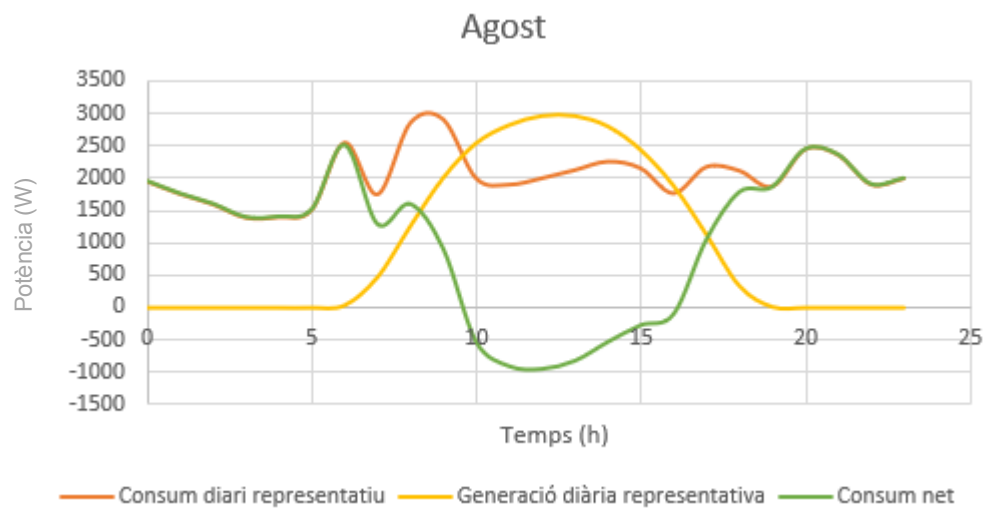
Gràfic 3. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 1,98 kW de potència nominal.



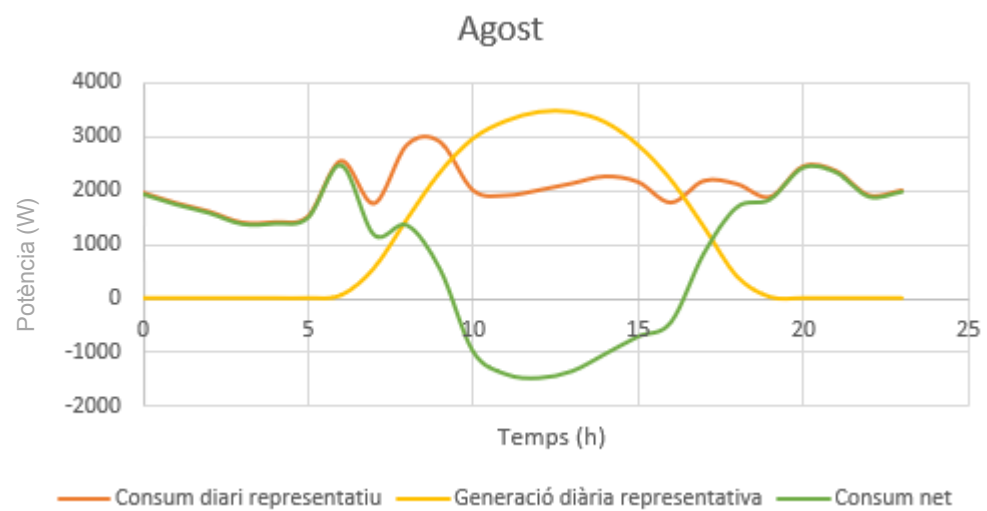
Gràfic 4. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 2,64 kW de potència nominal.



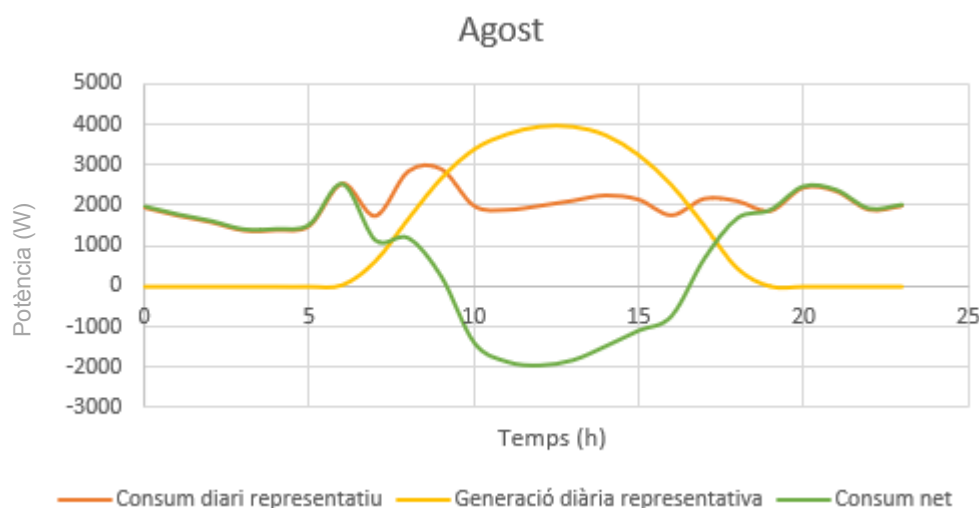
Gràfic 5. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 2,97 kW de potència nominal.



Gràfic 6. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 3,96 kW de potència nominal.



Gràfic 7. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 4,62 kW de potència nominal.



Gràfic 8. Corbes representatives del mes d'agost d'una instal·lació de 5,28 kW de potència nominal.

En els últims casos el consum net arriba a un valor negatiu, la qual cosa significa que es genera excedent d'energia durant les hores corresponents.

A la *Taula 5* es recullen les característiques dels elements que formarien la instal·lació en cadascun dels casos:

Potència nominal de la instal·lació fotovoltaica [Wp]	Elements que formen el sistema
1980	6 mòduls fotovoltaics de 330 Wp en sèrie (16 m ²) 1 inversor de 1,5kW (Galvo 1.5-1 de Fornius)
2640	8 mòduls fotovoltaics de 330 Wp en sèrie (16 m ²) 1 inversor de 2,5kW (Galvo 2.5-1 de Fornius)
2970	9 mòduls fotovoltaics de 330 Wp en sèrie (18m ²) 1 inversor de 2,5kW (Galvo 2.5-1 de Fornius)
3960	12 mòduls fotovoltaics de 330 Wp, 2 branques de 6 mòduls en sèrie (24m ²) 2 inversors de 1,9kW (Symio 3.7-3-M de Fornius)
4620	14 mòduls fotovoltaics de 330 Wp, 2 branques de 7 mòduls en sèrie (28m ²) 2 inversors de 2kW (Symio 4.5-3-M de Fornius)

5280	16 mòduls fotovoltaics de 330 Wp, 2 branques de 8 mòduls en sèrie (32m ²) 2 inversors de 2kW (Symio 5.0-3-M de Fornius)
------	---

Taula 5. Potència nominal dels dispositius que formen el sistema usada per a cada simulació.

5.5.2. Dades horàries

Les dades horàries són dades de les quals disposem des d'un principi, tant pel que fa al consum com pel que fa a les dades de generació que retorna el programa per a cada simulació, de manera que les dades es poden analitzar directament.

Aquesta comparació al llarg de l'any es fa per obtenir un resultat més precís i per tenir coneixement del percentatge d'hores en les quals el consum net és negatiu durant tot l'any.

Potència nominal instal·lació fotovoltaica [Wp]	Percentatge d'hores en les quals el consum net és negatiu en un any [%]
1980	0,05
2640	0,97
2970	2,04
3960	7,80
4620	12,02
5280	15,01

Taula 6. Percentatge d'hores en un any en les quals el consum net és negatiu.

Els resultats obtinguts per al cas 1 mostren que la potència nominal que assegura que gairebé mai es tingui un consum net negatiu és de 1,98 kW. Tot i això, amb les dades mensuals representatives es veu que agafant una potència nominal de 3,96 kW, 4,62 kW o 5,28 kW s'assegura que no hi hagi massa consum net negatiu i cobreixen major part de la demanda del bloc de pisos. Amb aquest valor de potència nominal hi ha un percentatge anual d'entre 7,80 % i 15,01 % d'hores en les quals el consum net és negatiu, de manera que es procedeix a comparar aquests 3 últims casos per veure quina instal·lació surt més rendible.

Abans de procedir, és interessant veure com es reparteix la generació (en consum i en excedents) en els tres casos d'estudi.

	Configuració amb 3,96 kWp	Configuració amb 4,62 kWp	Configuració amb 5,28 kWp
Consum energètic anual del bloc de pisos [kWh]	26.339	26.339	26.339
Generació fotovoltaica anual [kWh]	6.401,1	7.513,7	8.594,9
Consum d'energia solar fotovoltaica anual [kWh]	6.064 (95 % de la generada es consumeix i representa un 24,3 % del consum total)	6.771,4 (90 % de la generada es consumeix i representa un 25,7 % del consum total)	7.376,5 (85 % de la generada es consumeix i representa un 28 % del consum total)
Excedent d'energia solar fotovoltaica anual [kWh]	337,1 (5 % de la generada)	742,3 (10 % de la generada)	1.218,4 (15 % de la generada)

Taua7. Dades energètiques de consum i producció amb la instal·lació fotovoltaica.

A continuació, s'hauria de validar el disseny les tres alternatives escollides tenint en compte un altre factor limitant: l'espai disponible per col·locar la instal·lació. Tal i com s'ha dit anteriorment, el terreny és de 279,6 m², de manera que es disposa d'uns 150 m² sense problemes i, conseqüentment, no limita la grandària de la instal·lació en cap cas.

5.6. Característiques dels inversors segons cada configuració escollida

En les tres configuracions que s'estudien s'ha seguit el procediment per a escollir l'inversor segons s'ha exposat en l'apartat 6.3.7. Els inversors escollits en tots els casos són de la sèrie Symio de la marca Fronius i a continuació se n'especifiquen les característiques de cada model:

1 - Per a la instal·lació de 3,92 kWp

- La tensió màxima en circuit obert és de $V_{OC} = 45 \text{ V} \cdot 6 = 270 \text{ V}$
- La tensió del punt de màxima potència és de $V_{MP} = 36,4 \text{ V} \cdot 6 = 218,4 \text{ V}$
- La intensitat de màxima potència dels panells serà $I_{MP} = 9,07 \text{ A} \cdot 2 = 18,14 \text{ A}$

L'inversor en aquest cas és el model Symio 3.7-3-M, les característiques del qual es troben a

continuació:

Màxima intensitat d'entrada [A]	32	Mínima/màxima tensió d'entrada [V]	150 - 1000
Rang de tensió MPP [V]	150 - 800	Rendiment [%]	98

Taula 8. Característiques de l'inversor escollit per a la instal·lació de 3,92 kWp.

2- Per a la instal·lació de 4,62 kWp

- La tensió màxima en circuit obert és de $V_{OC} = 45 \text{ V} \cdot 7 = 315 \text{ V}$
- La tensió del punt de màxima potència és de $V_{MP} = 36,4 \text{ V} \cdot 7 = 254,8 \text{ V}$
- La intensitat de màxima potència dels panells serà $I_{MP} = 9,07 \text{ A} \cdot 2 = 18,14 \text{ A}$

L'inversor en aquest cas és el model Symio 4.5-3-M, les característiques del qual es troben a continuació:

Màxima intensitat d'entrada [A]	32	Mínima/màxima tensió d'entrada [V]	150 - 1000
Rang de tensió MPP [V]	150 - 800	Rendiment [%]	98

Taula 9. Característiques de l'inversor escollit per a la instal·lació de 4,62 kWp.

3- Per a la instal·lació de 5,28 kWp

- La tensió màxima en circuit obert és de $V_{OC} = 45 \text{ V} \cdot 8 = 360 \text{ V}$
- La tensió del punt de màxima potència és de $V_{MP} = 36,4 \text{ V} \cdot 8 = 291,2 \text{ V}$
- La intensitat de màxima potència dels panells serà $I_{MP} = 9,07 \text{ A} \cdot 2 = 18,14 \text{ A}$

L'inversor en aquest cas és el model Symio 5.0-3-M, les característiques del qual es troben a

continuació:

Màxima intensitat d'entrada [A]	32	Mínima/màxima tensió d'entrada [V]	150 - 1000
Rang de tensió MPP [V]	163 - 800	Rendiment [%]	98

Taula 10. Característiques de l'inversor escollit per a la instal·lació de 5,28k Wp.

Els tres inversors exposats tenen una temperatura de treball de -25 °C a 60 °C i un índex de protecció IP65, el qual garanteix la protecció total contra la pols i rajos potents d'aigua. Tot i això, es decideix col·locar-lo dins la tercera planta, on hi haurà una sala a la qual s'ha d'accedir per a poder pujar a la coberta i quedarà totalment protegit.

5.7. Disposició de la instal·lació

5.7.1. Els panells fotovoltaics

Cal agrupar els panells fotovoltaics en sèrie, en paral·lel o en sèrie-paral·lel segons la potència nominal de la instal·lació i les característiques físiques de la localització de la instal·lació. Segons la disposició es pot veure com es calculen els valors de voltatge, corrent i potència.

La connexió de cel·les en paral·lel s'aconsegueix connectant els terminals positius de les cel·les entre ells i els negatius entre ells. Així, el voltatge es manté en totes les cel·les i les intensitats que travessen cada cel·la es sumen (veure equació 6 i 7), tal com es pot veure a la *Figura 11*.

$$V_{TOTAL} = V_1 = V_2 = \dots = V_N \quad (\text{Eq.6})$$

$$I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + \dots + I_N \quad (\text{Eq. 7})$$

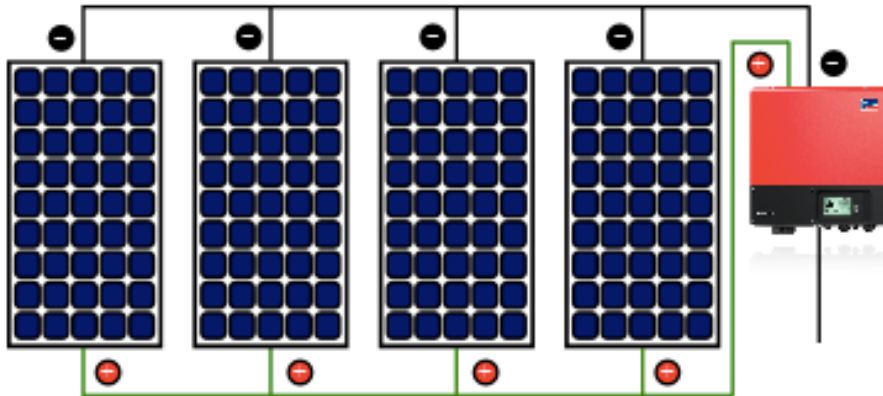


Figura 11. Exemple pràctic de connexió de panells fotovoltaics en paral·lel [31].

La connexió de cel·les en sèrie s'aconsegueix connectant el terminal positiu d'un panell al terminal negatiu de la seva cel·la adjacent de manera successiva. Així, el voltatge de les cel·les es suma i la intensitat que les travessa és la mateixa (veure equació 8 i 9), tal com es pot veure a la Figura 12.

$$I_{TOTAL} = I_1 = I_2 = \dots = I_N \quad (\text{Eq. 8})$$

$$V_{TOTAL} = V_1 + V_2 + \dots + V_N \quad (\text{Eq. 9})$$

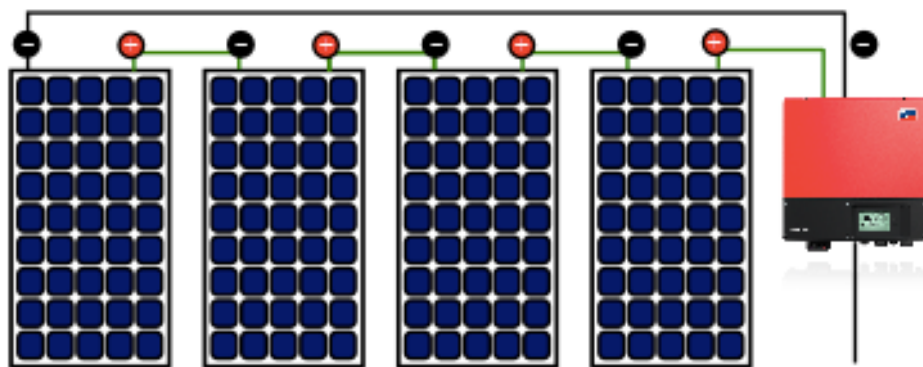


Figura 12: Exemple pràctic de connexió de cel·les fotovoltaiques en sèrie [31].

La connexió de cel·les en sèrie-paral·lel s'aconsegueix combinant les dues tipologies de connexió, obtenint tant un augment d'intensitat com de voltatge.

Per cada branca:

$$V_{BRANCA} = N^{\circ}_{PANELLS_SÈRIE} \cdot V_N \quad (\text{Eq. 10})$$

$$I_{BRANCA} = I_N \quad (\text{Eq. 11})$$

Per al conjunt:

$$V_{TOTAL} = V_{BRANCA} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$I_{TOTAL} = I_{BRANCA} \cdot N^{\circ}_{BRANQUES_PARAL·LEL} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$P_{TOTAL} = V_{TOTAL} \cdot I_{TOTAL} \quad (\text{Eq. 14})$$

Adicionalment, a l'hora de col·locar els panells fotovoltaics s'han de prendre les següents consideracions:

- Disposició de panells fotovoltaics preferiblement en horitzontal.
- Distanciar la disposició dels panells solars entre ells per evitar que es generin ombres entre ells.

L'IDAE proposa la següent fórmula per al càlcul de la distància entre panells:

$$d = \frac{h}{\tan(61^{\circ} - \text{latitud})} \quad (\text{Eq. 15})$$

On 'd' és la distància entre el final d'un panell i l'inici del següent i 'h' és l'alçada en vertical del panell que projecta l'ombra i es pot veure gràficament a la *Figura 13*.

$$h = 520,24 \text{ mm}$$

$$d = 1480 \text{ mm}$$

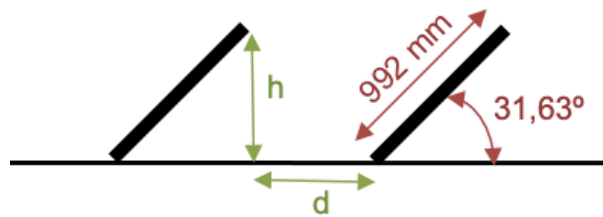


Figura 13. Visualització per al càlcul d'ombres.

Així, la distància entre branques de panells fotovoltaics queda establerta a 1,5 m.

5.7.2. Estructura de suport dels panells

Els generadors fotovoltaics s'han de col·locar sobre uns elements mecànics de suport, tot assegurant-ne l'angle i orientació escollits com a paràmetres de disseny. L'ICAEN (Institut Català de l'Energia) [7] destaca una sèrie de requisits a tenir en compte a l'hora d'escollir aquesta estructura:

1. Han de ser estructures robustes de llarga vida útil, és a dir, de duració mínima de 25 anys, fabricades amb materials que puguin estar esposats a la intempèrie sent resistents a la fatiga, a la corrosió i que no requereixin manteniment.
2. Cal calcular l'estructura de tal manera que sigui resistent a condicions climatològiques adverses segons l'apartat SE-AE *Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación* del CTE (*Código Técnico de la Edificación*).
3. L'estructura ha de preveure que les dilatacions tèrmiques no transmetin càrregues que afectin la integritat dels generadors o de la coberta, tal com indiqui el fabricant.
4. Cal connectar l'estructura i els marcs metàl·lics dels generadors a la presa de terra, segons indica el REBT.
5. Han de presentar resistència mecànica a esforços produïts pel vent de fins a 2000 N.
6. Els elements que les formen (caragols i altres accessoris) han de ser resistents a l'oxidació, resistir esforços mecànics superiors a 2500 N i estar complementats amb volanderes sintètiques que evitin el deteriorament a causa de l'aparició de defectes galvànics entre metalls.
7. El muntatge de l'estructura ha de ser àgil, fàcil, presentar diverses possibilitats de subjecció i d'un cost raonable.

L'estructura escollida és prefabricada d'alumini. L'empresa distribuïdora TeknoSolar ofereix diverses alternatives i d'entre elles el model escollit és CH915XL de *Sunfer Energy Structures*. És una bona solució per a la disposició de plaques a un preu raonable. A continuació es mostren les característiques del model escollit:

Material de l'estructura	Alumini 6005A T6
Material del caragolam	Acer inoxidable
Disposició del panell fotovoltaic	Horitzontal de fins a 72 cel·les –CH915
Pes unitari	5 kg
Preu unitari	59 €
Sobrecàrrega màxima per neu	200 N/m ²
Velocitat màxima de resistència al vent	29 m/s

Taula 11. Característiques de l'estructura de suport dels panells escollida.

Com que l'estructura es comercialitza a Catalunya, es considera que compleix els requisits exposats anteriorment. L'estructura ve amb la inclinació fixa a 30° però sota comanda es pot canviar aquest paràmetre segons convingui, quedant establert a 32°. Segons el nombre de plaques en les tres configuracions estudiades caldran més o menys estructures de suport.

La superfície on es farà la instal·lació és a la coberta de l'edifici, la qual disposarà d'una superfície prevista de 279,6 m². Tanmateix, no tot aquest espai estarà disponible per a fer la instal·lació, ja que cal tenir present un marge de seguretat necessari en la zona del terrat, una separació dels marges del terrat i entre panells per evitar ombres, un espai on hi haurà l'escala que arriba a la coberta, un espai per instal·lar-hi antenes i altres dispositius, ...

Després de prendre aquestes consideracions se seguiria disposant d'un gran espai, de no menys de 150 m². Per això, no s'ha considerat que l'espai disponible pugui resultar un factor limitador a l'hora de fer la instal·lació en aquesta situació. Pel que fa al material de la coberta, el fabricant dels suports indica que la instal·lació de les estructures de suport és possible sobre cobertes diverses metàl·liques o de formigó.

5.8. Cablejat

Els cables que formen el sistema són indispensables per assegurar el transport de l'energia elèctrica entre els diferents elements de la instal·lació, és per això que han de ser d'alta qualitat. Per determinar les característiques del cablejat es farà referència al *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* (REBT) [6], normativa que va ser aprovada per Real Decret el 2002. Aquest text consta de 29 articles desenvolupats en un conjunt de 52 Instruccions Tècniques Complementàries (ITC-BT), acompanyades per guies d'aplicació.

No obstant, en cap dels articles del Real Decret fa referència a l'aplicació fotovoltaica i en alguns casos en pot dificultar l'aplicació. Per això, el *Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red* de l'IDAE sí que estipula que el cablejat cal que compleixi les següents condicions:

- Els positius i negatius de cada mòdul s'han de conduir de manera separada i protegits.
- Els conductors han de ser de coure i presentar la secció adequada per evitar caigudes de tensió i sobreescalfaments. Específicament, per a qualsevol condició de treball, cal que la secció dels conductors en contínua sigui suficient per assegurar una caiguda de tensió menor al 1,5%.
- Cal que els cables tinguin la longitud necessària per no generar esforços sobre els elements de la instal·lació, ni possibilitat d'enganxada per al trànsit normal de persones.
- Cal que el cablejat de contínua sigui de doble aïllament i adequat per a l'ús en la intempèrie, l'aire o enterrat, d'acord amb la norma UNE 21123.

Adicionalment, la secció del conductor quedarà determinada pels següents dos criteris bàsics establerts pel REBT, els quals estan relacionats amb la resistència que ofereix el cable i s'expliquen a continuació:

1. Criteri de caiguda de tensió: La caiguda de tensió ha de ser menor que les especificades en les condicions de disseny, la qual és deguda al pas de corrent per la resistència equivalent del cable.
2. Criteri tèrmic: Les pèrdues d'energia que es produeixen en forma de calor per l'efecte Joule són inevitables a causa de què la resistència elèctrica del conductor mai és

nul·la, per això el conductor ha de poder dissipar la calor generada per la intensitat circulant en règim permanent.

Tenint presents aquestes consideracions cal determinar el cablejat segons la seva ubicació i el tipus de corrent (altern o continu), de manera que es distingiran tres trams, dos de corrent continu i un de corrent altern. En tots els casos es segueix el mateix procediment:

- Primer s'aplica el criteri de caiguda de tensió. Segons la ITC-BT-40 la caiguda de tensió nominal màxima entre els generadors i el punt d'interconnexió a la xarxa pública o a la instal·lació no pot ser superior al 1,5%, per la intensitat nominal. S'aplicaran les següents equacions, una per al càlcul de la secció als trams de corrent continu (S_{dc}) i l'altra per al tram entre inversor i punt de connexió a xarxa trifàsica (S_{3ac}).

$$S_{dc} = \frac{2 \cdot L_{dc} \cdot I_{dc}}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{dc}} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$S_{3ac} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{3ac} \cdot I_{3ac} \cdot \cos(\varphi)}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{3ac}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Sent L la longitud del cable en cada tram, ΔV la caiguda de tensió en cada tram, γ_{θ} ¹ la conductivitat del conductor a una temperatura determinada.

- Si la secció del cablejat obtinguda per la fórmula no està normalitzada, s'haurà de triar la secció immediatament superior.
- Un cop establerta la secció cal comprovar que compleixi el criteri tèrmic. Segons la ITC-BT-40, el cable ha de ser dimensionat per una intensitat no inferior al 125 % de la màxima intensitat del generador. En la zona de corrent continua el valor de la màxima intensitat es correspon amb la intensitat de curtcircuit, de manera que el producte $1,25 \cdot I_{sc}$ ha de ser menor a la intensitat màxima admissible del cable en les seves

¹ S'escull el coure, la conductivitat qual és de $\gamma_{70} = 48 \frac{m}{\Omega mm^2}$ a la temperatura màxima d'operació

per a un aïllant termoplàstic o $\gamma_{90} = 44 \frac{m}{\Omega mm^2}$ a la temperatura màxima d'operació per a un aïllant termostable.

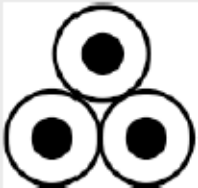


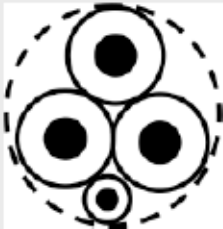
condicions de treball, el qual es pot trobar a les taules ICT-BT-19 i les correccions que calguin, les quals es troben a la ICT-BT-07.

- Per als trams de corrent continu els conductors utilitzats seran de tipus 0,6/1 kV de coure amb aïllament de tipus PVC. El tipus d'instal·lació serà el B tabulat a la *Taula 12* com a conductors aïllats en tubs o canals en muntatge superficial o en obra extret de la ITC-BT-19.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ¹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁶⁾ Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁶⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR	
Cobre		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
		240				315	350	374	419	455	490	552	711
		300				360	404	423	484	524	565	640	821

Taula 12. Intensitats admissibles (A) al aire 40°C. Número de conductors amb càrrega i naturalesa d'aïllament [6].

- Per al tram de corrent alterna la instal·lació es farà amb conductors de 0,6/1 kV de coure amb aïllament PVC enterrats, i com a tals, el disseny seguirà la ITC-BT-07.

Sección nominal mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
						
	Tipo de aislamiento					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	–	–	–
630	885	870	770	–	–	–

Taula 13. Intensitat admissible (A) per a conductors de coure en instal·lacions enterrades [6].

En general, a causa de la combinació de grans longituds i corrents baixos, les seccions resultants del criteri de caiguda de tensió són capaces de conduir el corrent del sistema. Així, queda per definir la longitud del cablejat, de la qual no es disposa informació precisa. Tot i això, es prenen les següents consideracions:

- Els cables de CC s'uneixen al final de cada branca i es condueixen fins al pis inferior a través de l'escala que arriba al terrat. Això permet col·locar l'inversor dins del bloc de pisos, de manera que patirà menys les condicions meteorològiques. La longitud del cablejat fins a l'escala es calcula que pot ser de fins a 25 m (2 m menys per cada panell que es treu en cada branca), un cop a l'escala, el cablejat s'uneix a la caixa de connexió i es baixarà per l'escala fins a l'inversor, situat dins la sala per a pujar al terrat a la tercera planta. S'estima que tram pot ser de fins a 6 m.

- Els cables de CA que surten de l'inversor en una línia de corrent alterna monofàsica, s'han de dirigir a la sala de comptadors de la comunitat per a poder-los unir amb el comptador d'energia generada i la xarxa de l'edifici. Els cables de cada inversor es condueixen junts des de la tercera planta fins a la sala de comptadors, havent de recórrer aproximadament una distància de 16 m si la sala es troba a la planta baixa (prenent una distància de 3,6 m per planta i una mica més per arribar sense problemes a la sala de comptadors).

Finalment hi ha un tercer criteri sobre la intensitat de curtcircuit, el qual estableix que la temperatura a la qual arriba el conductor no pot ser major a la temperatura màxima admissible de curta durada per a l'aïllant del conductor. S'utilitza cablejat de coure i 0,6/1 kV de tensió assignada. Per això s'escull l'aïllament amb PVC, un termoplàstic, el qual pot arribar a assolir temperatures de treball de 70°C.

5.8.1. Circuit de corrent continu

- **Des de la generació fins a la caixa de connexió**

Tal com s'ha indicat, aquest tram de cablejat va des de cada branca de generadors fotovoltaics fins a l'escala, on s'ajunta. Aplicant el criteri de caiguda de tensió màxima:

Potència nominal [kWp]	Longitud tram del cablejat L_{dc}	Intensitat per branca I_{dc}	Tensió per branca ΔV_{dc}	Secció final S_{dc}
3,96	21 m	9,07 A	218,4·0,015 V	2,42 mm ²
4,62	23 m	9,07 A	254,8·0,015 V	2,27 mm ²
5,28	25 m	9,07 A	291,2·0,015 V	2,16 mm ²

Taula 14. Secció final segons el criteri de caiguda de tensió a la part de CC.

Veient els resultats caldrà normalitzar la secció final obtinguda, agafant la secció immediatament superior, la qual serà de 2,5 mm² en els tres casos. Es procedeix a fer la comprovació del criteri tèrmic:

Potència nominal [kWp]	Intensitat de curtcircuit [A]	$1,25 \cdot I_{sc}$ [A]	Secció final [mm ²]	Intensitat màxima permesa [A]
3,96	9,78	12,23	1,5	15
4,62	9,78	12,23	1,5	15
5,28	9,78	12,23	1,5	15

Taula 15. Secció final segons el criteri tèrmic a la part de CC.

Finalment, el cable escollit és de 2,5 mm², haurà de ser de doble aïllament i adient per a l'ús en la intempèrie.

- **Des de la caixa de connexió fins a l'inversor**

Aquest tram de cablejat va des de l'escala fins a l'inversor. Aplicant el criteri de caiguda de tensió màxima:

Potència nominal [kWp]	Longitud tram del cablejat L_{dc}	Intensitat per branca I_{dc}	Tensió per branca ΔV_{dc}	Secció final S'_{dc}
3,96	6 m	18,14 A	218,4 · 0,015 V	1,19 mm ²
4,62	6 m	18,14 A	254,8 · 0,015 V	1,02 mm ²
5,28	6 m	18,14 A	291,2 · 0,015 V	0,89 mm ²

Taula 16. Secció final segons el criteri de caiguda de tensió a la part de CC.

Veient els resultats caldrà normalitzar la secció final obtinguda, agafant la secció immediatament superior, la qual serà de 1,5 mm² en els tres casos. Es procedeix a fer la comprovació del criteri tèrmic:

Potència nominal [kWp]	Intensitat de curtcircuit [A]	$1,25 \cdot I_{sc}$ [A]	Secció final [mm ²]	Intensitat màxima permesa [A]
3,96	19,56	24,45	4	27
4,62	19,56	24,45	4	27
5,28	19,56	24,45	4	27

Taula 17. Secció final segons el criteri tèrmic a la part de CC.

Finalment, el cable escollit és l'obtingut pel criteri tèrmic de 4 mm².

Tal com s'ha especificat, tot el tram de corrent continu es fa en tubs protectors ja sigui en muntatge superficial o emportats en obra, de manera que es requereix una instal·lació que ha de seguir la ITC-BT-21 del REBT:

- La instal·lació i col·locació de tubs ha de complir la norma UNE 20.460-5-52, així com la ITC-BT-19 i la ITC-BT-20.
- Les canals hauran de seguir traços verticals o horitzontals, paral·leles a la paret.
- Les canals que tinguin conductivitat elèctrica hauran de connectar-se a la xarxa de terra, quedant la seva continuïtat elèctrica assegurada.
- No poden utilitzar-se canaletes com a conductors de protecció o del neutre, exceptuant les canalitzacions prefabricades indicades a la ITC-BT-18.
- La tapa de les canaletes ha de quedar sempre accessible.

Es proposa el model 66U23X de la marca UNEX amb tapa PVC que consta amb les següents característiques:

- Protecció contra contactes directes i indirectes.
- No cal que es posi a terra.
- La forma del model no conté arestes que puguin danyar els conductors.

5.8.2. Circuit trifàsic

Aquest tram de cablejat va des de l'inversor fins a la sala de comptadors, havent de recórrer uns 15 m aproximadament. Aplicant el criteri de caiguda de tensió amb la següent fórmula:

$$S_{3ac} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{3ac} \cdot I_{3ac} \cdot \cos(\varphi)}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{3ac}} = \frac{L_{3ac} \cdot P_{3ac}}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{3ac} \cdot V_{3ac}} \quad (\text{Eq. 18})$$

Potència nominal [kWp]	Longitud tram del cablejat L_{3ac}	Potència màxima branca P_{3ac}	Tensió per branca ΔV_{3ac}	Secció final S'_{3ac}
3,96	15 m	3700 W	400·0,015 V	0,52 mm ²
4,62	15 m	4500 W	400·0,015 V	0,64 mm ²
5,28	15 m	5000 W	400·0,015 V	0,71 mm ²

Taula 18. Secció final segons el criteri de caiguda de tensió a la part de CA.

Veient els resultats caldrà normalitzar la secció final obtinguda, agafant la secció immediatament superior, la qual serà de 6 mm² en tots els casos.

El corrent que circularà per al conductor fins al punt de connexió a la xarxa estarà determinada per la potència màxima que l'inversor pot entregar a la xarxa i la tensió a la qual es farà la connexió aplicant la següent fórmula (igualant el factor de potència a la unitat, segons s'estableix per a les instal·lacions fotovoltaïques):

$$I_{3ac} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{3ac} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 400} \quad (\text{Eq. 19})$$

Potència nominal de 3,96 kWp	$I_{3ac} = 5,34 \text{ A}$
Potència nominal de 4,62 kWp	$I_{3ac} = 6,49 \text{ A}$
Potència nominal de 5,28 kWp	$I_{3ac} = 7,21 \text{ A}$

Taula 19. Valors de la corrent que circula en la part de CA.

Segons la ITC-BT-07 aquest valor ha de ser inferior a 56 A i en tots els casos aquest criteri es compleix sense dificultat.

Tanmateix, el valor de 65 A s'ha de corregir si es considera que el conductor està dins d'un tub, ja que la seva capacitat d'evacuar calor disminuirà. Per això s'aplica un valor de reducció de 0,8 sobre aquesta intensitat quedant com a 44,8 A.

S'ha considerat que la profunditat a la qual s'enterra el conductor és de 0,7 m i la temperatura del terreny és de 25°C, si aquests valors variessin, caldria aplicar criteris de correcció corresponents.

5.9. Elements de protecció del sistema

Durant el funcionament de la instal·lació fotovoltaica poden aparèixer situacions que representin un perill per a les persones o que poden ser perjudicials per als equips. Per a preveure-les i evitar-les, s'estudien els elements necessaris per assegurar que hi hagi la protecció necessària a la instal·lació fotovoltaica. Es segueixen les recomanacions presents al *Quadern Pràctic número 4 [7]*, visibles a la *Figura 14*, publicades per l'ICAEN (Institut Català de l'Energia), tot fent referència a diverses instruccions tècniques complementaries del REBT.

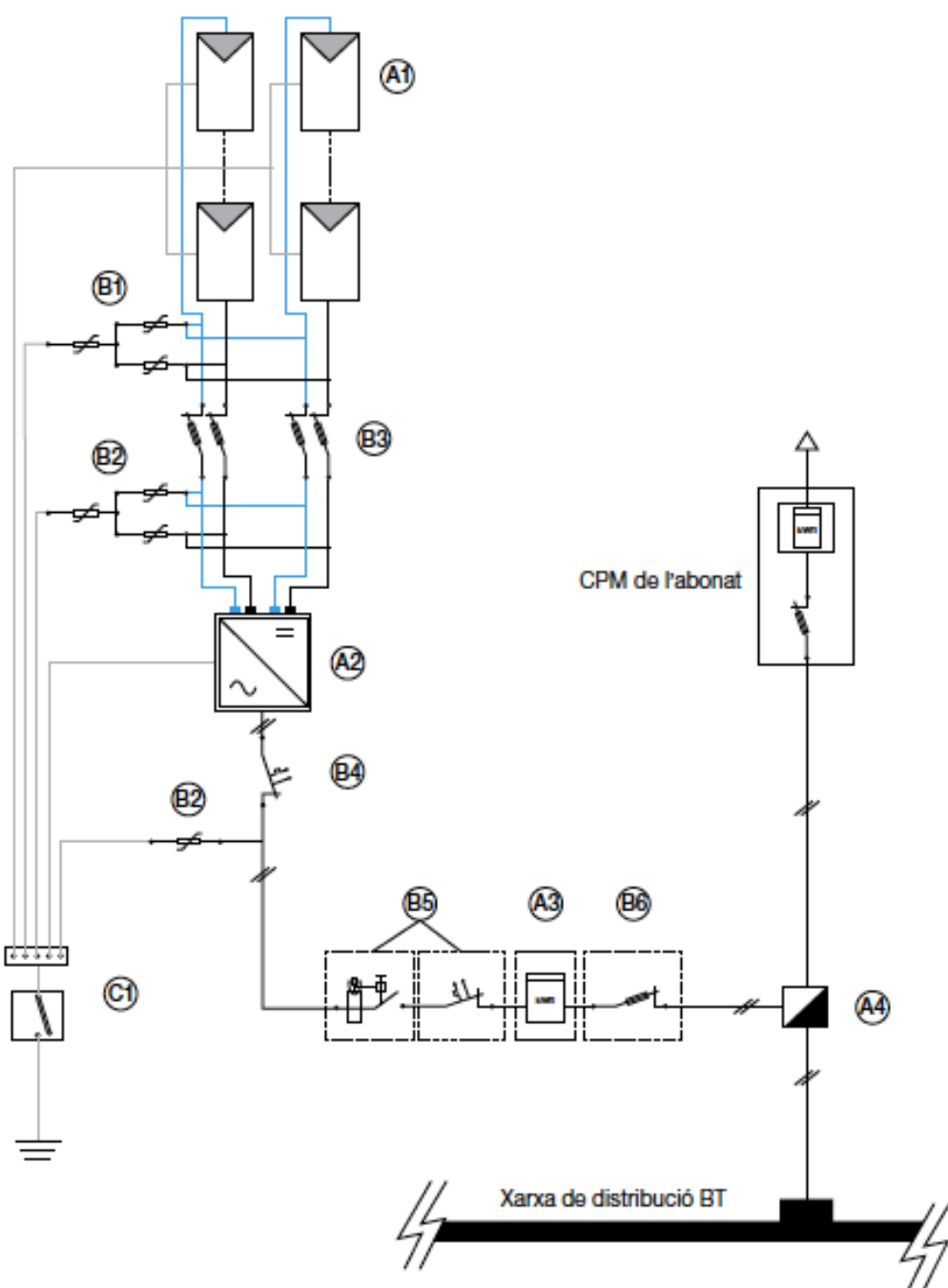


Figura 14. Esquema bàsic de la instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa [23].

5.9.1. Elements bàsics (A)

A1- Generador fotovoltaic

A2- Inversors CC/CA per a instal·lacions connectades a la xarxa

L'inversor ha de disposar d'un seguit de proteccions obligatòries per a poder-se connectar a la xarxa elèctrica:

- No permetre el funcionament en 'illa', és a dir, no pot generar energia quan no hi ha tensió a la xarxa a la qual es trobi connectat.
- Ha de disposar d'un control de mínima i màxima tensió que garanteixi la desconexió si se sobrepassen aquests llindars ($U_{\min} = 0,85 \cdot U_o$ i $U_{\max} = 1,10 \cdot U_o$; sent U_o el valor eficaç de la tensió nominal entre fases i terra, en corrent altern).
- Ha de disposar d'un control de freqüència que garanteixi la desconexió si la freqüència de la xarxa supera els 51 Hz o si és inferior als 49 Hz.
- Ha de disposar del control MPPT al costat de CC.

A3- Comptador bidireccional d'energia injectada a la xarxa elèctrica

Comptabilitza l'energia que es genera i l'energia que es consumeix i és obligat a les instal·lacions col·lectives. El comptador es col·loca dins del mòdul corresponent de doble aïllament, precintat per la companyia distribuïdora i s'ha d'ubicar al punt límit públic-privat per fer-lo sempre accessible a la companyia.

A4- Punt de connexió

La instal·lació fotovoltaica es connecta a la xarxa de distribució de baixa tensió en un punt de connexió. Establir el punt és competència de la companyia elèctrica i és un dels primers tràmits administratius que cal demanar quan es vol muntar la instal·lació.

5.9.2. Proteccions elèctriques (B)

Les instal·lacions elèctriques han de disposar d'una sèrie de proteccions regulades per el REBT, les quals són diferents segons el tipus de corrent (altern o continu) que hi ha en cada zona de la instal·lació. En general són les següents:

- Protecció contra sobreintensitats (sobrecàrregues i curtcircuits) ITC-BT-22.
- Protecció contra sobretensions ITC-BT-23.
- Protecció contra contactes directes i indirectes ITC-BT-24.
- Presa de terra ITC-BT-18.

5.9.2.1. Proteccions a la part de CC

B1 i B2- Proteccions contra sobretensions (varistors)

La ITC-BT-23 parla de la protecció de les instal·lacions elèctriques contra sobretensions transitòries, les quals són pics de tensió de molt curta durada que es propaguen per la xarxa de distribució. Les sobretensions poden ser causades per descàrregues atmosfèriques, per commutacions a la xarxa o bé per defectes en aquestes.

Si els valors pic de la tensió són molt elevats, poden fer malbé els equips, per això s'utilitzen elements de protecció contra aquestes tensions, fabricats a base de varistors. Els varistors tenen una tensió nominal superior a la tensió de la xarxa que protegeixen, de manera que, si la tensió de la xarxa supera aquest valor en algun moment, els varistors comencen a conduir el corrent cap a terra.

Els dispositiu que incorpora varistors en les instal·lacions fotovoltaïques és el descarregador de sobretensions, sent els de tipus 1 i 2 els més comuns. Per a la instal·lació d'estudi es recomana utilitzar el de tipus 2, el qual està destinat a la protecció general del sistema. Si es desitja una protecció addicional del sistema contra llamps (segons la ubicació de la instal·lació pot haver-hi més probabilitat de caiguda de llamps o aquests poden ser més intensos), caldria utilitzar els descarregadors de tipus 1.

Tal com es mostra a la *Figura 14*, cal instal·lar un varistor al generador fotovoltaic i un altre, en sèrie, a l'entrada de cadascun dels altres equips a protegir. L'elecció d'aquests elements depèn de la tensió en buit a cada branca de panells, la qual és la màxima permesa.

Així, cal trobar un descarregador de tensions de tipus 2 amb una tensió nominal superior a la

tensió en circuit obert que és de 270 V, 315 V o 360 V, en cadascuna de les tres configuracions proposades.

B3- Fusibles a la línia del generador fotovoltaic

Les possibles sobreintensitats presents al sistema poden ser causades per curtcircuits, per descàrregues elèctriques atmosfèriques o bé per sobrecàrregues en els aparells en ús. S'ha de sobredimensionar el sistema per a les sobreintensitats previsibles i, addicionalment, cal instal·lar dispositius que n'interrompin el funcionament en previsió a aquestes situacions, tal com regula la ITC-BT-22.

Els elements destinats a aquest tipus de protecció són els fusibles, els quals són uns dispositius formats per un conductor (en forma de làmina de metall, filament o aliatge de baix punt de fusió) que es posiciona a la instal·lació elèctrica per a fondre's quan circula a través seu un corrent superior al determinat. La fusió es produeix per efecte Joule, en augmentar, per sobre del valor nominal, la temperatura del conductor i fa que el circuit quedi obert, mantenint així la integritat dels altres dispositius i conductors que formen la instal·lació. Hi ha diversos tipus de fusibles, d'entre ells es proposa utilitzar el gL, que és més general.

Per a dimensionar el fusible cal seguir les següents condicions:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (\text{Eq. 20})$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (\text{Eq. 21})$$

on:

- I_B intensitat segons la qual s'ha dissenyat la línia ($I_B = I_{MP} = 9,07 \text{ A}$).
- I_n intensitat nominal del dispositiu de protecció. Sol utilitzar-se la relació $I_n \geq 1,25 \cdot I_{SC}$ per evitar parades innecessàries, on I_{SC} és la corrent de curtcircuit de la línia associada al fusible.
- I_Z intensitat màxima admissible pel conductor, determinada a la secció de cablejat ($I_Z = 16,17 \text{ A}$).
- I_2 intensitat que assegura el funcionament efectiu del dispositiu de protecció. En el cas dels fusibles normalment es compleix que $I_2 = 1,6 \cdot I_n$.

De manera que:

$$9,07 \text{ A} \leq I_n \leq 16,17 \text{ A} \rightarrow I_n = 10 \text{ A}$$

$$I_2 = I_n \cdot 1,6 = 16 \text{ A}$$

El qual verifica la segona condició: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \rightarrow 16 \text{ A} \leq 23,44 \text{ A}$

5.9.2.2. Proteccions a la part de CA

B4- Interruptor automàtic de tall a la sortida CA de l'inversor

De manera similar als fusibles, els interruptors automàtics de tall poden interrompre el pas de corrent d'una instal·lació si aquest sobrepassa un màxim, protegint contra sobreintensitats i curtcircuits. Tot i això, la funció principal d'aquests dispositius és seccionar la càrrega de la sortida CA de l'inversor, permetent realitzar les operacions de manteniment d'aquests equips (una funció per la qual els fusibles no es poden emprar). Si l'inversor n'incorpora un, és redundant. La ITC-BT-22 en regula les característiques i igual que els fusibles, ha de complir les equacions 20 i 21.

En el cas d'interruptors magnetotèrmics sempre es compleix que $I_2 = 1,45 \cdot I_n$, així cal verificar tan sols l'altra condició.

La resta de components es calculen com a:

$$I_B = N^{\circ}_{\text{branques}} \cdot I_{MP} = 2 \cdot 9,07 = 18,14 \text{ A}$$

$$I_Z = I_{\text{màx}_{\text{admissible}}} = 44,8 \text{ A}$$

$$18,14 \text{ A} \leq I_n \leq 44,8 \text{ A} \rightarrow I_n = 27,5 \text{ A}$$

$$I_2 = 1,45 \cdot I_n = 40 \text{ A}$$

El qual verifica la segona condició: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \rightarrow 40 \text{ A} \leq 64,96 \text{ A}$

B5- Quadre general de proteccions i mesurament

El Reial decret 1663/2000 estableix que el quadre general de proteccions i mesuraments ha d'incorporar les següents proteccions:

- Interruptor automàtic diferencial: és un dispositiu encarregat d'evitar els contactes indirectes i requereix una bona coordinació amb la connexió a terra. Detecta corrents derivats a terra a causa d'un defecte d'aïllament i es desconnecta automàticament si aquests defectes superen la seva sensibilitat predeterminada. Han d'estar basats en la ITC-BT-24, la qual estipula que ha de tenir una sensibilitat de $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$ (punt de tall), com a màxim. Com que la intensitat nominal és de 5,34 A, 6,69 A o 7,21 A segons el cas, es tria un interruptor diferencial classe A de 25 A i amb sensibilitat de 30 mA, el qual protegeix contra corrents de fuga alterna i polsants.
- Interruptor de potència ICP: s'encarrega de limitar la injecció de potència a la xarxa a un valor de 130 % de la potència nominal de la instal·lació. Addicionalment pot detectar fallades i desconnectar la instal·lació. El poder de tall (PdC) en kA ha de ser superior a la potència de curtcircuit establerta al punt de connexió per la companyia distribuïdora.

B6- Fusible de la instal·lació fotovoltaica

Si es donés el cas que hi ha algun curtcircuit accidental o bé alguna protecció defectuosa a la instal·lació, aquest fusible es col·loca aigües avall com a element de protecció general. El poder de tall (PdC) en kA ha de ser superior a la potència de curtcircuit establerta al punt de connexió per la companyia distribuïdora. Per al seu dimensionament s'han de complir les equacions 20 i 21.

Amb l'interruptor magnetotèrmic hem comprovat que: $18,14 \text{ A} \leq I_n \leq 44,8 \text{ A} \rightarrow I_n = 25 \text{ A}$

En el cas dels fusibles normalment es compleix que $I_2 = 1,6 \cdot I_n = 40 \text{ A}$

El qual verifica la segona condició: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \rightarrow 40 \text{ A} \leq 64,96 \text{ A}$

5.9.3. Posada a terra (C)

Aquest tipus d'instal·lació és obligatòria i està regulada per l'ITC-BT-18 *Instalaciones de Puesta a Tierra* del REBT. La posada a terra equilibra els potencials elèctrics dels elements de la instal·lació. D'aquesta manera s'eliminen les diferències de potencial en les masses metàl·liques de la instal·lació, s'assegura la correcta actuació de les proteccions i s'elimina o es disminueix el risc que suposa una avaria present als materials elèctrics que s'utilitzen. A més, permet el pas a terra de possibles descàrregues elèctriques degudes a fenòmens atmosfèrics o a no desitjats. Cal tenir present que segons l'Article 12 del Real decret 1663/2000 les masses s'han de connectar a un terra independent del neutre de l'empresa distribuïdora, així com les masses de la resta de subministraments, assegurant que estiguin situades a una distància mínima per evitar que es creïn tensions perilloses i el pas de defectes d'una a l'altra.

El sistema de posada a terra ha d'estar format pels següents elements:

- Preses de terra: són elèctrodes de material conductor que es troben en contacte directe amb el terra, així permeten el pas de corrents no desitjats o d'origen atmosfèric. Els elèctrodes poden estar formats per barres, tubs, platines, conductors nuus, plaques, malles metàl·liques, armadures de formigó enterrades (a excepció de les armadures pretensades) o qualsevol estructura enterrada que demostrï ser apropiada per aquest ús. Cal que la presa a terra estigui separada a la individual de l'edifici. La profunditat a la qual s'enterren mai ha de ser superior a 0,5 m i ha d'estar pensada de manera que no se superi mai la resistència prevista de la posada a terra.

Per a la nostra instal·lació fotovoltaica es proposa una pica d'acer-coure cilíndrica de diàmetre de 18,3 mm (acer-coure 300 μ), s'enterrarà de manera vertical i haurà de complir les normes UNE 21056 i UNE 202006.

La resistència de la pica es pot calcular segons la resistivitat del terreny (ρ), la longitud de la pica (L_{PT}) i el nombre d'elèctrodes que es col·loquin (n_{PT}) de la següent manera:

$$R_{PT} \cong \frac{\rho}{n_{PT} \cdot L_{PT}} \quad (\text{Eq. 22})$$

La resistivitat del terreny queda determinada en funció del tipus de terreny:

Terrenys cultivables fèrtils	50 mΩ
Terrenys cultivables poc fèrtils	500 mΩ
Terres pedregoses	3000 mΩ

Taula 20. Valors mitjos de la resistivitat segons el tipus de terreny segons la ITC-BT-18.

Agafant un valor de resistivitat del terreny de 500 mΩ, s'estableix la longitud de la pica d'un model comercial de 5 m i s'instal·len les 5 que venen a la caixa, la residència de la pica de posada a terra queda: $R_{PT} = 20 \Omega$

A continuació cal comprovar que aquesta resistència en la zona de corrent alterna, és a dir que no permeti obtenir tensions de contacte superiors a 24 V. Així, a partir de la tensió de defecte en locals humits i terres conductors (24 V) i una intensitat equivalent a la d'actuació del dispositiu diferencial (30 mA), es comprova que la següent igualtat es compleixi:

$$R_{PT} \leq \frac{V}{I} = \frac{24V}{30mA} = 833,33\Omega$$

- Conductors de terra: són conductors que uneixen l'elèctrode de la presa de terra amb el born principal de posada a terra. Segons la ITC-BT-18, cal que els cables respectin les següents dimensions mínimes:

TIPUS	Protegit mecànicament	No protegit mecànicament
Protegit contra la corrosió (mitjançant un envoltant)	Mateix criteri que el cablejat de protecció	16 mm ² coure 16 mm ² acer galvanitzat
No protegit	25 mm ² coure 50 mm ² ferro	

Taula 21. Secció mínimes convencionals dels conductors de terra.

S'escull un conductor de coure nuu de 35 mm^2 , tal i com recomana la guia per a conductors enterrats, i un conductor de coure amb coberta de 16 mm^2 per a trams no soterrats.

S'ha de vigilar que a l'hora de fer les unions entre els conductors de terra i els elèctrodes les connexions resultin elèctricament correctes, sense que cap dels dos materials hagi quedat danyat. Aquestes unions es consideraran correctes si es fan mitjançant soldadura aluminotèrmica o grapes de soldadura.

- Borns de posada a terra: tota instal·lació ha de tenir un born principal de posada a terra al qual s'han d'unir els conductors de terra, els de protecció i els d'unió equipotencial.
- Cablejat de protecció (PE): uneix les masses de la instal·lació amb els conductors de terra per assegurar la protecció contra els contactes indirectes.

Segons la ITC-BT-18, la secció del conductor de protecció ha de complir les següents mesures:

Secció dels conductors de fase de la instal·lació [mm^2]	Secció mínima dels conductors de protecció [mm^2]
$S < 16$	$S_P = S$ (*)
$16 \leq S \leq 35$	$S_P = 16$
$S > 35$	$S_P = S/2$
(*) Si els conductors de protecció no formen part de la canalització, la seva secció serà d'un mínim de: <ul style="list-style-type: none"> - $2,5 \text{ mm}^2$ (si disposen d'una protecció mecànica) - 4 mm^2 (si no disposen d'una protecció mecànica) 	

Taula 22. Relació entre les seccions dels conductors de protecció i els conductors de fase.

6. Càrrega estructural

La coberta de l'edifici és la localització escollida per a la instal·lació fotovoltaica, de manera que cal assegurar que sigui capaç de treballar sota uns esforços addicionals, els quals són deguts al pes propi dels components i a la força transmesa per l'efecte del vent. És important definir i calcular aquests esforços perquè l'arquitecte pugui fer un càlcul precís de l'estructura del projecte.

Cal remetre's a la normativa present al document SE-AE: Seguridad Estructural- *Acciones en la Edificación* del Codi Tècnic d'Edificació [9] on s'estipulen les sobrecàrregues màximes admissibles segons el tipus de coberta i a la *Taula 23* s'exposa la categoria que interessa per al cas d'estudi:

Categoria d'ús		Càrrega uniforme [kN/m ²]	Càrrega concentrada [kN]
F	Cobertes transitables accessibles privadament	1	2

Taula 23. Càrregues mínimes admissibles segons el tipus de coberta.

A partir de la taula es pot veure que la densitat de càrrega de la coberta no pot superar els 101,9 kg/m² ni tampoc els 203,8 kg de càrrega puntual.

6.1. Efecte del vent

Per a calcular la força transmesa a la coberta pels efectes del vent es segueix el procediment present al document SE-AE: Seguridad Estructural- *Acciones en la Edificación* (del CTE).

L'acció del vent resulta en l'aplicació d'una força perpendicular o pressió estàtica (q_e) a la superfície exposada, la qual es pot calcular segons la següent equació:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (\text{Eq. 23})$$

On:

q_b és la pressió dinàmica del vent de $0,5 \text{ kN/m}^2$, valor obtingut segons la localització de la instal·lació segons marca l'anejo D del document SE-AE: Seguridad Estructural- *Acciones en la Edificación*.

c_e és el coeficient d'exposició, el qual varia segons l'altura de l'emplaçament en funció del grau de rugositat de l'entorn. Els valors que pren el coeficient es troben tabulats. Per al cas d'estudi el coeficient de rugositat seria de grau IV (zona urbana) i l'altura de la coberta de l'edifici és d'uns 15 m, de manera que el coeficient d'exposició resultant és de 2,1.

c_p és el coeficient eòlic o de pressió, el qual varia segons la forma, l'orientació de la superfície respecte al vent i la posició respecte a la superfície a la qual se sostenen les laques. Per a establir el valor d'aquest coeficient es considera que la forma de la placa solar és similar a la forma de les marquesines a una aigua modelades a la taula D.10 de l'anejo D del document SE-AE: Seguridad Estructural- *Acciones en la Edificación*.

Es pren l'angle d'inclinació de 30° (molt pròxim a l'angle d'estudi) i es considera que estaran situades a la zona C de la coberta (la zona de la coberta més desprotegida i per tant, la hipòtesi més conservadora és prendre com a vàlid aquest valor). A partir d'aquestes característiques la taula queda de la següent manera:

Angle d'inclinació	Efecte del vent	Factor d'obstrucció	c_p
30°	Cap avall	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,4
	Cap amunt (no hi ha obstacles a la part inferior)	0	-3,6
	Cap amunt (hi ha obstacles a la part inferior)	1	-2,7

Taula 24. Valors de c_p segons l'anejo D.

El vent quan actua sobre la superfície superior (part on hi ha el panell), el factor d'obstrucció pren el valor entre $0 \leq \varphi \leq 1$, i tendeix a tirar el panell cap avall (es produeix la pressió). En canvi, quan el vent incideix sobre la superfície inferior (part buida a causa de l'altura que li proporcionen els suports), el factor d'obstrucció pren el valor de 0, i tendeix a aixecar el panell

(es produeix la succió). Aquests dos fenòmens simultanis s'han de tenir en compte a l'hora de veure l'efecte que produeix la càrrega del vent en la direcció vertical:

$$q_{e_{\varphi=0}} = 0,52 \cdot 2,1 \cdot (-3,6) \cdot \cos(32^\circ) = -3,33 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{e_{0 \leq \varphi \leq 1}} = 0,52 \cdot 2,1 \cdot (2,4) \cdot \cos(32^\circ) = 2,22 \text{ kN/m}^2$$

6.2. Efecte del pes

Finalment, s'ha de tenir en compte el pes efectiu que exerceixen els diversos elements que formen la instal·lació sobre la coberta. Els inversors no es consideren, en quedar situats dins de l'edifici, de manera que els elements que es tenen en compte són els panells fotovoltaics (de 22,5 kg) i el seu suport (de 5 kg), tal com queda detallat a la *Taula 25*.

Potència nominal de la instal·lació [kW _p]	Nombre d'elements pesants	Massa total [kg]	Pes total [N]	Càrrega [kN/m ²]
3960	12 panells i 12 suports	390	3822	0,184
4620	14 panells i 14 suports	455	4459	0,184
5280	16 panells i 16 suports	520	5096	0,184

Taula 25. Sobrecàrrega dels elements sobre la coberta.

L'ancoratge és l'element de la instal·lació encarregat de fixar els suports dels panells fotovoltaics a la coberta, una part sensible de l'edificació, quedant sotmès a esforços mecànics importants i a un alt nivell d'agressió ambiental. Per tot això, a l'hora d'escollir-los és important d'una banda pensar en tots aquests factors i d'altra avaluar les condicions de la ubicació per escollir el tipus d'ancoratge més adient en cada cas.

Els ancoratges que requereixen la perforació de la coberta es descarten en ser una solució

complicada que requereix que els forats resultants de l'aplicació s'omplin amb silicona, escuma de poliuretà i pintura impermeabilitzant. Tot això per seguir corrent risc de patir humitats a la coberta.

L'opció més segura és la utilització d'unes sabates de formigó en massa construïdes per encofrat, les quals donen estabilitat a l'estructura únicament amb el seu pes, recordant que el seu pes específic aparent és d'aproximadament 2500 kg/m^3 .

Els panells es troben orientats cap al sud de manera que el vent que presenta major risc és el que prové del nord, produint forces de tracció sobre els ancoratges (més destructives que les de compressió). A la *Taula 26* es poden veure els pesos recomanats segons la zona i la localització de la instal·lació i per a la instal·lació d'estudi es recomana un ancoratge de 100 kg per a cada panell.

Zona	Localització	Pes dels ancoratges per panell [kg]
Urbana	Zona de vents forts, superiors a 100km/h	190
	Zona de vents fluixos i alçada inferior a 6 plantes	100
	Zona protegida dels vents del nord	60
	Panells sobre coberta a igual inclinació	60
Aïllada	Zona de vents forts, superiors a 100km/h	250
	Zona de vents fluixos i alçada inferior a 6 plantes	120
	Zona protegida dels vents del nord	60
	Panells sobre coberta a igual inclinació	75

Taula 26. Pes dels ancoratges dels suports segons la zona i la localització [12].

El pes efectiu que exerceixen aquests elements sobre la coberta queda determinat a la *Taula 27*:

Potència nominal de la instal·lació [kW _p]	Nombre d'ancoratges	Massa total [kg]	Pes total [N]	Càrrega [kN/m ²]
3,96	12	1200	10680	0,514
4,62	14	1400	12460	0,514
5,28	16	1600	14240	0,514

Taula 27. Sobrecàrrega dels elements sobre la coberta.

6.3. Càrrega estructural total

Un cop determinades totes les càrregues addicionals a tenir en compte, cal sumar-les:

$$q_{TOTAL} = 2,22 + 0,184 + 0,514 = 2,918 \text{ kN/m}^2$$

La càrrega total queda distribuïda per una superfície diferent segons la superfície de la instal·lació, és a dir, per als 3,96Wp es disposa de 20,35 m², per als 4,62 kWp es disposa de 23,74 m² i per als 5,28 kWp es disposa de 27,13 m². Posteriorment, cal distribuir la força per tota la superfície de la coberta, la qual és de 279,6 m² en tots els tres casos.

$$\begin{aligned}
 2,918 \text{ kN/m}^2 \cdot 20,35 \text{ m}^2 &= 59,38 \text{ kN} \rightarrow \frac{59,38 \text{ kN}}{279,6 \text{ m}^2} = 0,212 \text{ kN/m}^2 \\
 2,918 \text{ kN/m}^2 \cdot 23,74 \text{ m}^2 &= 69,27 \text{ kN} \rightarrow \frac{69,27 \text{ kN}}{279,6 \text{ m}^2} = 0,247 \text{ kN/m}^2 \\
 2,918 \text{ kN/m}^2 \cdot 27,13 \text{ m}^2 &= 79,16 \text{ kN} \rightarrow \frac{79,16 \text{ kN}}{279,6 \text{ m}^2} = 0,283 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Segons es pot veure, la càrrega addicional que suposa la instal·lació mai supera el límit de 1 kN/m², de manera que es pot construir sense problemes.

7. Manteniment

Per assegurar el bon funcionament de la instal·lació fotovoltaica durant la seva vida útil, cal establir un manteniment periòdic dels elements que la formen, per això s'estableix un contracte de manteniment preventiu i correctiu, tal com indica l'IDAE. El manteniment l'ha de fer personal tècnic qualificat sota responsabilitat d'una empresa instal·ladora i cal que totes les activitats quedin registrades en un informe tècnic.

7.1. Manteniment preventiu

Periòdicament cal fer una inspecció visual de totes les instal·lacions així com verificar el funcionament de tots els equips i sistemes. Aquesta inspecció s'ha de fer de manera anual a instal·lacions de fins a 100 kW i cal que es facin les següents revisions:

- Comprovar l'estat dels mòduls fotovoltaics accionant l'interruptor automàtic de tall (seccionant) per a realitzar tasques correctives, si s'escau.
- Comprovar l'estat del suport dels panells fotovoltaics.
- Comprovar les proteccions elèctriques i l'estat dels conductors.
- Comprovar l'estat de l'inversor.

7.2. Manteniment correctiu

En les tasques de manteniment correctiu, el personal tècnic s'encarrega d'arreglar o de substituir els equips de la instal·lació que hagin estat malmesos, per assegurar el correcte funcionament d'aquesta. Aquest manteniment es realitza únicament durant el període de garantia de la instal·lació, sent gratuït per a l'usuari si es compleixen les condicions de garantia de cada element.

Aquest manteniment no es realitza de manera periòdica, sinó que cada vegada que l'usuari de la instal·lació ho requereixi a causa d'alguna avaria. L'empresa subministradora de material haurà de respondre davant la incidència en un termini màxim d'una setmana i l'avaría haurà de ser arreglada en un termini de no més de 15 dies.

8. Anàlisi econòmic

8.1. Cost

Primerament es calcula el cost de la instal·lació en cadascun dels 3 escenaris plantejats.

3,7kW de potència d'inversor	Unitats	Cost unitari	Cost total
Panell fotovoltaic	12	191 €	2.292 €
Estructura	12	59 €	708 €
Ancoratge	12	60 €	720 €
Inversor	1	1.203,99 €	1.203,99 €
Cable 2,5mm ²	1	52 €	52 €
Cable 4 mm ²	1	40 €	40 €
Cable 6 mm ²	1	64 €	64 €
Tubs protectors	7	7,56 €	52,92 €
Descarregador de tensions tipus2	1	73,70 €	73,70 €
Fusibles CC	2	1,43 €	2,86 €
Fusible CA	1	18,27 €	18,27 €
Interruptor magnetotèrmic tripolar	1	42,02 €	42,02 €
Interruptor automàtic diferencial	1	55,08 €	55,08 €
Interruptor de control de potència	1	113,45 €	113,45 €
Sistema posada a terra	1	376,08 €	376,08 €
TOTAL			5.814 €

Taula 28. Cost total de la instal·lació de 3,7 kW d'inversor.

4,5kW de potència d'inversor	Unitats	Cost unitari	Cost total
Panell fotovoltaic	14	191 €	2.674 €
Estructura	14	59 €	826 €
Ancoratge	14	60 €	840 €
Inversor	1	1.239,99 €	1.269,99 €
Cable 2,5mm ²	1	52 €	52 €
Cable 4 mm ²	1	40 €	40 €
Cable 6 mm ²	1	64 €	64 €
Tubs protectors	8	7,56 €	60,48 €
Descarregador de tensions tipus2	1	73,70 €	73,70 €
Fusibles CC	2	1,43 €	2,86 €
Fusible CA	1	18,27 €	18,27 €
Interruptor magnetotèrmic tripolar	1	42,02 €	42,02 €
Interruptor automàtic diferencial	1	55,08 €	55,08 €
Interruptor de control de potència	1	113,45 €	113,45 €
Sistema posada a terra	1	376,08 €	376,08 €
TOTAL			6.508 €

Taula 29. Cost total de la instal·lació de 4,5 kW d'inversor

5,0kW de potència d'inversor	Unitats	Cost unitari	Cost total
Panell fotovoltaic	16	191 €	3.056€
Estructura	16	59 €	944 €
Ancoratge	16	60 €	960 €
Inversor	1	1.519 €	1.519 €
Cable 2,5mm ²	1	52 €	52 €
Cable 4 mm ²	1	40 €	40 €
Cable 6 mm ²	1	64 €	64 €
Tubs protectors	9	7,56 €	68,04 €
Descarregador de tensions tipus2	1	73,70 €	73,70 €
Fusibles CC	2	1,43 €	2,86 €
Fusible CA	1	18,27 €	18,27 €
Interruptor magnetotèrmic tripolar	1	42,02 €	42,02 €
Interruptor automàtic diferencial	1	55,08 €	55,08 €
Interruptor de control de potència	1	113,45 €	113,45 €
Sistema posada a terra	1	376,08 €	376,08 €
TOTAL			7.385 €

Taula 30. Cost total de la instal·lació de 5,0 kW d'inversor

A continuació, els costos de fer el projecte per a realitzar aquest tipus d'instal·lació es divideixen en dues parts, els costos associats a recursos humans i els costos associats a recursos materials.

Recursos materials: l'estimació d'aquest tipus de recursos resulta difícil en estar relacionada amb l'ús d'Internet, de l'ordinador... Per això, es té en compte la vida útil i es calcula el preu en funció d'aquest valor.

Concepte	5 anys	1 any	% d'ús en el projecte respecte l'ús anual	Import final
Ordinador portàtil	1200€	240 €	10 %	24 €
PVSyst	-	1.300 €	5 %	65 €
Microsoft Office	-	70 €	5 %	3,5 €
Matlab	-	800 €	5 %	40 €
TOTAL				132,5 €

Taula 31. Recursos materials estimats del projecte.

Recursos humans: aquests recursos fan referència a les hores que s'han invertit per fer el projecte. Tot i això, el cost que tindria un projecte d'aquest tipus fet per un professional seria menor que al de l'estudiant, ja que en estar familiaritzat amb el tema hi hauria d'invertir un menor nombre al menor nombre d'hores i es té en compte aquest valor.

Concepte	Hores	Preu per hora	Import final
Treball de l'alumne	450	10 €/h	4.500 €
Professional	40	60 €/h	2.400 €
TOTAL DEL PROFESSIONAL			2.400 €

Taula 32. Recursos humans estimats del projecte.

Finalment, cal calcular el cost total com a la suma de tots els costos computats, és a dir, el cost de la instal·lació, dels recursos materials i dels recursos humans (el professional).

Configuració	Inversió total	€/W
3,7 kW de potència d'inversor	8.346,5 €	2,25 €
4,5 kW de potència d'inversor	9.040,5 €	2,01 €
5,0 kW de potència d'inversor	9.917,5 €	1,98 €

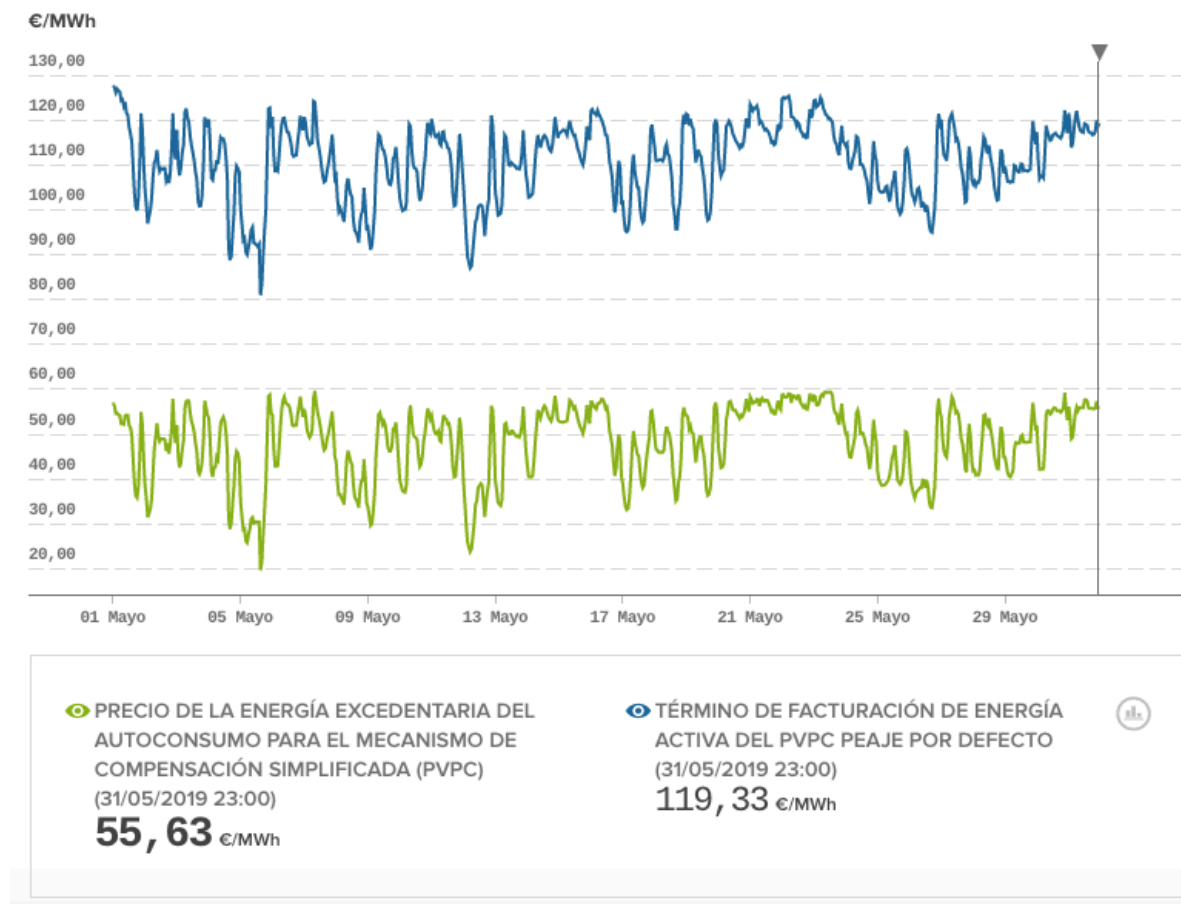
Taula 33. Cost total de la realització del projecte en cada cas.

8.2. Estalvi anual dels usuaris

Per estudiar l'estalvi econòmic en els tres casos d'estudi es fan servir les següents dades:

1. Les dades del consum horari del 2018 de cada habitatge, proporcionades per Electra Caldense.
2. Les dades de generació horària obtingudes amb el PVSyst en els tres casos diferents: instal·lant una potència de 3,96 kW, de 4,62 kW i de 5,28 kW respectivament.
3. Es busca obtenir la diferència en la part variable de la factura (després d'haver aplicat els impostos en aquesta part), per això es requereixen dues sèries de dades addicionals:
 - a. El cost de l'energia obtingut de Red Eléctrica Española amb dades de l'any 2018. Les dades han sigut segons el preu horari al qual es poden acollir els consumidors de Tipus 2, conegut com a preu variable del petit consumidor (PVPC), suposant que els consumidors estiguin acollits a la tarifa de peatge per defecte.
 - b. La compensació energètica es realitza a partir de dades d'aquest any, concretament d'entre l'1 de maig fins al 31 de maig, extretes de la tarifa proposada per Red Eléctrica de l'energia excedentària per al mecanisme de compensació simplificada (que afecta els consumidors acollits al PVPC). Les dades d'aquest període s'extrapolen a valors que haguessin pres el

2018 horàriament, a causa de la relació que tenen amb la facturació d'energia segons el PVPC. A continuació, es pot veure l'evolució d'aquestes dues variables durant el període proposat al *Gràfic 9*.



Gràfic 9. Evolució temporal del preu de l'energia excendentària de l'autoconsum i el preu final horari per als consumidors acollits al mecanisme de PVPC durant el maig de 2019 [10].

La diferència mitjana en els preus horaris d'aquest mes és de 62,73 €/MWh, presentant una desviació estàndard de 2,4, de manera que s'aplicarà aquesta diferència per a obtenir el preu de l'energia excendentària de l'autoconsum per al mecanisme de compensació simplificada (PVPC) horari que hi hauria amb les dades del 2018.

Primerament, a partir de les dades del consum anual de cada habitatge i de la zona comuna, es comprova el patró de consum dels usuaris. Segons si un usuari té major o menor consum, se li assigna una β diferent fixa. Els càlculs es fan a l'Excel a partir d'un arxiu .csv obtingut a partir d'un Script de Matlab que es pot trobar a l'Annex B.

Finalment, les β queden repartides de la següent manera:

Usuari	Comu.	B1	B2	Pis 1.1	Pis 1.2	Pis 1.3	Pis 2.1	Pis 2.2	Pis 2.3	A1	A2
Valor β	0,20	0,11	0,10	0,09	0,07	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07	0,10

Taula 34. Repartició de les betes segons el consum de cada pis.

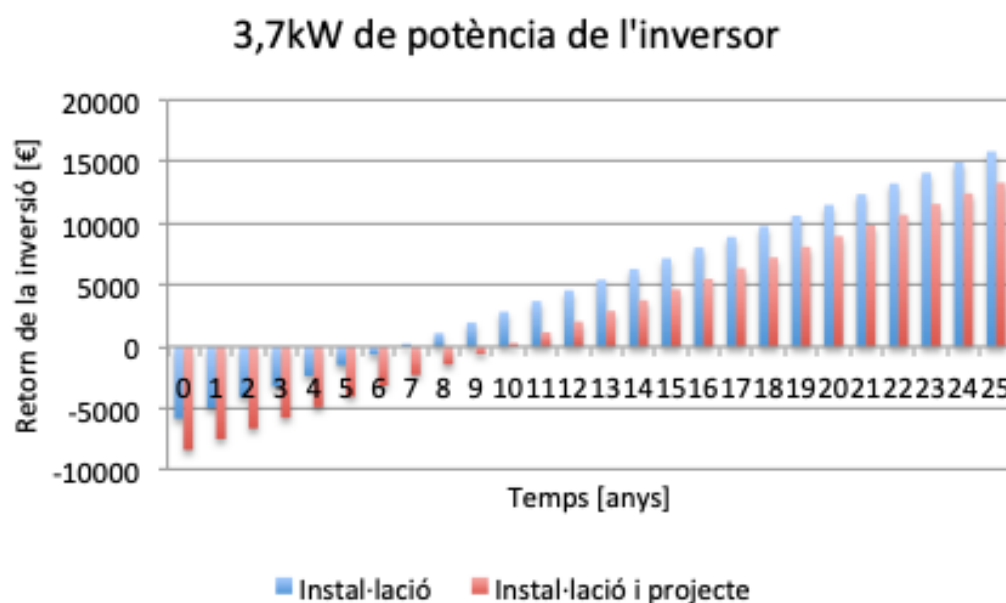
A partir d'aquestes dades es procedeix a calcular l'estalvi anual dels usuaris per a cadascun dels 3 casos. Els càlculs es fan a l'Excel a partir de 4 arxius .csv obtingut a partir de 2 Scripts de Matlab que es pot trobar a l'Annex B i l'estalvi queda de la següent manera:

	3,7kW de potència d'inversor	4,5kW de potència d'inversor	5,0kW de potència d'inversor
Baixos 1	111,43 €	126,94 €	141,22 €
Baixos 2	98,17 €	112,15 €	125,08 €
Pis 1.1	84,53 €	107,60 €	107,60 €
Pis 1.2	80,36 €	92,03 €	102,76 €
Pis 1.3	90,09 €	103,32 €	115,36 €
Pis 2.1	101,95 €	116,85 €	130,72 €
Pis 2.2	55,35 €	63,39 €	70,66 €
Pis 2.3	61,72 €	70,24 €	78,02 €
Àtic 1	77,55 €	88,72 €	78,02 €
Àtic 2	104,53 €	119,55 €	133,44 €
TOTAL	865,68 €	989,74 €	1.103,92 €

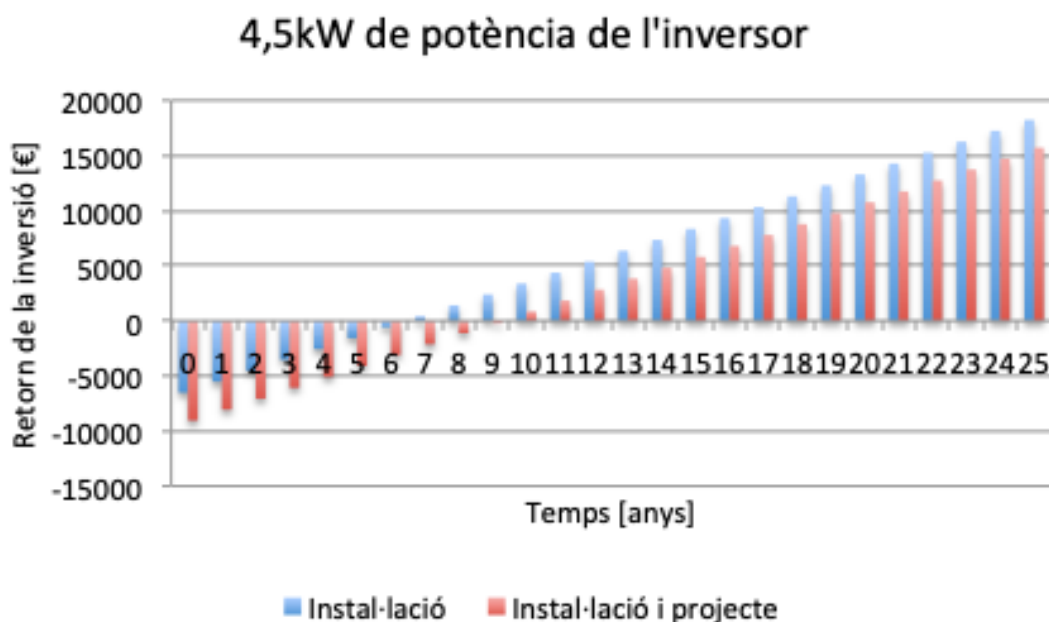
Taula 35. Estalvi de la factura elèctrica anual segons el tipus d'instal·lació per a cada pis i total.

8.3. Rendibilitat de la inversió

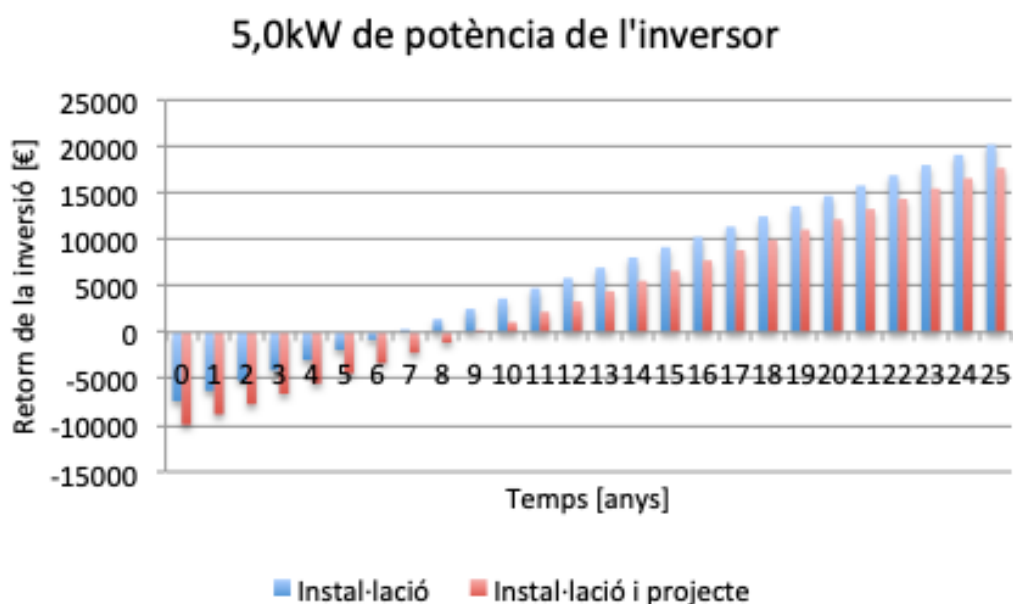
Suposant l'estalvi constant durant cada any, es procedeix a comprovar el període de retorn que tenen les inversions de cadascuna de les possibles configuracions.



Gràfic 10. Període de retorn de la inversió per a la configuració de 3,7 kW de potència de l'inversor.



Gràfic 11. Període de retorn de la inversió per a la configuració de 4,5 kW de potència de l'inversor.



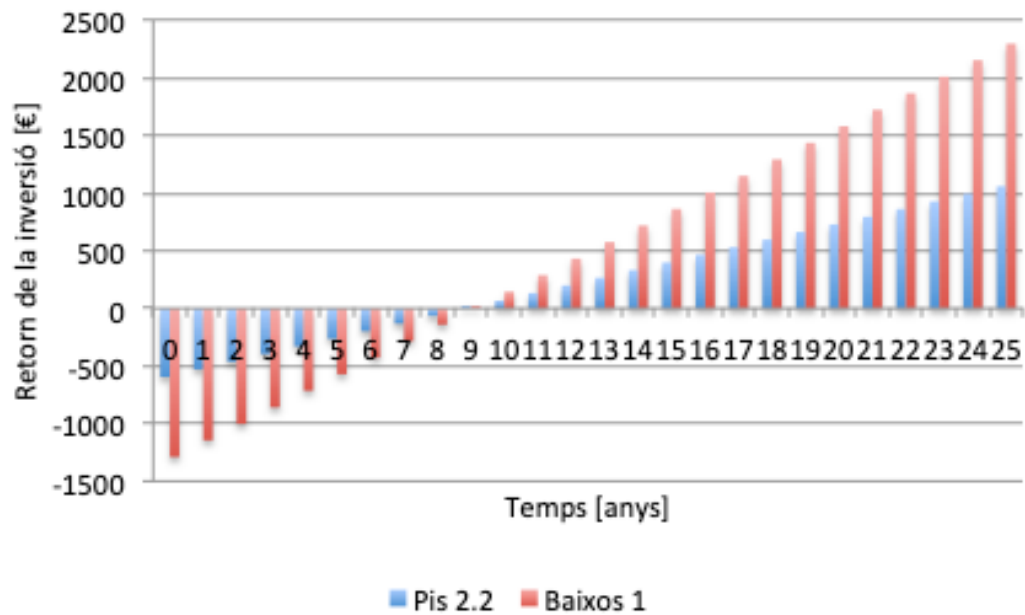
Gràfic 12. Període de retorn de la inversió per a la configuració de 5,0 kW de potència de l'inversor.

	Període de retorn de la instal·lació	Període de retorn de la instal·lació i el projecte
3,7kW de potència de l'inversor	Agost del 6è any	Juliol del 9è any
4,5kW de potència de l'inversor	Juny del 6è any	Gener del 9è any
5,0kW de potència de l'inversor	Agost del 6è any	Novembre del 8è any

Taula 36. Període de retorn de la inversió en cada cas estudiat.

Tal com es veu, el període de retorn depèn del cost del projecte en gran mesura (n'allarga la recuperació uns 3 anys). D'entre les tres opcions la tercera resulta millor tant en el temps de recuperació de la inversió a 25 anys vista (vida útil que tenen els panells solars), com en la ràtio €/W que presenta a l'hora de fer la inversió.

Com que cadascun dels usuaris rep una proporció diferent de l'energia generada, es proposa repartir el cost de la inversió entre els diferents usuaris segons la proporcionalitat de les betes. Així, al *Gràfic 13* es pot veure com queda la inversió de la tercera configuració (5,0 kW de potència d'inversor) recuperada respectivament per als usuaris del Baixos 1, els qui tenen una major proporció, i del Pis 2.2, els qui tenen la menor proporció.



Gràfic 13. Període de recuperació de la inversió segons l'usuari.

Conclusions

Un cop s'ha caracteritzat la instal·lació i s'ha analitzat la rendibilitat econòmica en els tres casos es pot considerar que la instal·lació de plaques fotovoltaïques a la coberta d'un bloc de pisos per a l'ús compartit d'aquest recurs és una inversió viable i rendible per a tothom. Tot i això, la rendibilitat a la qual s'aconsegueix arribar és de gairebé 9 anys, una xifra que pot semblar encara massa per alguns dels usuaris. Respecte a la diferència de rendibilitat que presenten cadascuna de les opcions, es veu que la tercera resulta ser la millor, ja que no només repercuteix en un retorn major de diners per a tots els usuaris, sinó que també treu major profit del mecanisme de compensació econòmica que possibilita l'estat.

Tanmateix, cal considerar que la rendibilitat d'aquest tipus d'instal·lació variarà molt en funció de com siguin les corbes de consum dels usuaris que es consideren, ja que tal com s'ha vist, no és el mateix preu el de compra d'energia que el de venda d'excedents, essent aquest últim menor. És per això que el decret nou ha estat ideat per a potenciar l'autoconsum, ajudant en certa mesura a què la rendibilitat de la inversió millori.

Així, si el consum dels usuaris durant les hores de sol és major, tindria un major aprofitament i per tant, la rendibilitat de la seva inversió seria major i seria molt beneficiosa. Aquesta és una característica difícil de trobar en una unitat familiar en la qual els habitants treballen o estudien fora de casa durant el dia.

El fet de no comptar amb mapes o característiques de com serà amb exactitud l'espai físic on es construiria aquesta hipotètica instal·lació ha suposat un repte a l'hora d'estimar l'espai disponible i la possible distribució de les plaques sobre aquest. Malgrat això, en tot moment s'ha buscat que les aproximacions preses s'ajustin bé a la realitat perquè els càlculs resultin realistes i aplicables en un cas real.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Real Decreto-ley 244/2019, de 5 d'abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 6 d'abril del 2019.
- [2] Real Decreto-ley 15/2018, de 5 d'octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 6 d'octubre del 2018.
- [3] IDAE. *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Juliol de 2011.
- [4] J. M. BALDASANO, C. SORIANO, H. FLORES, *Atlas de radiació solar a Catalunya*. Setembre de 2001.
- [5] O. PERPIÑÁN, *Energía solar fotovoltaica*. [En línia] Versió 1.9 del gener de 2019. <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- [6] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias*. Edició del 10 d'abril del 2019.
- [7] INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA. *Energia solar fotovoltaica. Col·lecció Quadern Pràctic Número 4*. Barcelona, maig de 2011.
- [8] IDAE. *Guía de Tramitación del Autoconsumo. Versión Preliminar*. Madrid, 10 de maig del 2019.
- [9] MINISTERIO DE VIVIENDA. *Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación. Código Técnico de la Edificación*. Madrid, abril de 2009.
- [10] RED ELÉCTRICA ESPANYOLA. [Consultada: 6 de juny de 2019] . Disponible a: <https://www.esios.ree.es/en/pvpc>
- [11] N. REOL, P. SÓRIA. *Energia Solar Tèrmica. Quadern Pràctic per a Instal·lacions*. Barcelona, juny de 2003.

Bibliografia complementària

- [12] M, LORENTE. *Comentarios al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*. Noviembre del 2002.
- [13] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. *Guía técnica de aplicación. Anexos. Cálculo de las caídas de tensión*. [Consultat: 20 de maig del 2019] Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_2_sep03R1.pdf
- [14] J. M. BLANCO. *Cómo hacer tu instalación fotovoltaica en casa*. [Consultada: 2 de maig del 2019] Disponible a: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-10-13/como-montar-instalacion-fotovoltaica-casa_1629471/
- [15] ELECTRA CALDENSE. *Com afecta l'autoconsum a la factura elèctrica*. Presentació 2 de maig del 2019.
- [16] PVSYST. Synthetic data generation. [Consultada: 20 de maig del 2019] Disponible a: http://files.pvsyst.com/help/meteo_synthetique.htm
- [17] ALBASLR. [Consultada: 22 de maig del 2019] Disponible a: <https://albasolar.es/>
- [18] FORNIUS. [Consultada: 5 d'abril del 2019] Disponible a: <https://www.fronius.com/en>
- [19] TEKNOSOLAR. [Consultada: 5 de maig del 2019] Disponible a: <https://www.teknosolar.com/>
- [20] DEHN. [Consultada 2 de juny del 2019] Disponible a: <https://www.dehn.es/>
- [21] CADENZA ELECTRIC. [Consultada 2 de juny del 2019] Disponible a: <https://www.cadenzaelectric.com/>
- [22] DAMIA SOLAR. [Consultada: 4 de juny del 2019] Disponible a: <https://www.damiasolar.com/>
- [23] N. HATZIARGYRIOU. (2014). *Microgrid: Architectures and Control*.
- [24] J. M. FLORES. Estudio de cargas sobre cubierta fotovoltaica. Elche, 2016.
- [25] RUBIO R. *Edificios descarbonizados 2030, coches solo eléctricos en 2050 y un 90% menos de CO2 en 2050*. [Consultada: 2 de maig del 2019] Disponible a: <https://www.europapress.es/>

- [26] MARTÍNEZ JIMÉNEZ, A. *Dimensionado de Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, 2012.
- [27] REFORMAS MADRID. [Consultada: 5 de juny del 2019] Disponible a: <https://www.reformas-servicios.com/>
- [28] RED ELECTRICA ESPAÑOLA. *El sistema eléctrico español. Avance 2018*. Disponible a: <https://www.ree.es/>
- [29] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Technology Roadmap 2014*. Disponible a: <https://www.iea.org/>
- [30] FIGUEROLA. *Plànol general habitatges previstos*. Sabadell, 2019.
- [31] FLEXI QUOTES. [Consultada: 5 de juny del 2019] Disponible a: <https://www.flexiquotes.com.au/>
- [32] IDAE. *Info IDAE 060:Guía de Tramitación del Autoconsumo*. Madrid, abril de 2019.